

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

Natalia de Avila Soares

FARELO DE CRAMBE NA ENSILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR

Diamantina

2016

Natalia de Avila Soares

FARELO DE CRAMBE NA ENSILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Saulo Alberto do Carmo Araújo

Coorientador: Pesq. Dr. Norberto Silva Rocha

**Diamantina
2016**

Ficha Catalográfica – Serviço de Bibliotecas/UFVJM
Bibliotecário Anderson César de Oliveira Silva, CRB6 – 2618.

S676f	<p>Soares, Natalia de Avila Farelo de crambe na ensilagem de cana-de-açúcar / Natalia de Avila Soares. – Diamantina, 2016. 56 p. : il.</p> <p>Orientador: Saulo Alberto do Carmo Araújo Coorientador: Norberto Silva Rocha</p> <p>Dissertação (Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.</p> <p>1. Silagem. 2. Crambe abyssinica Hoechst. 3. Aditivo absorvente. 4. Composição bromatológica. 5. Perfil fermentativo. I. Título. II. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.</p> <p style="text-align: right;">CDD 633.61</p>
-------	--

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Natalia de Avila Soares


FARELO DE CRAMBE NA ENSILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Zootecnia, nível de Mestrado,
como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Saulo Alberto
do Carmo Araújo
Coorientador: Pesq. Dr. Norberto
Silva Rocha

Data da aprovação 19/04/2016


Prof. Dr. Antônio Ricardo Evangelista – UFLA


Pesq. Dr. Norberto Silva Rocha – UFVJM


Prof. Dr. Severino Delmar Junqueira Villela – UFVJM


Prof. Dr. Saulo Alberto do Carmo Araújo – UFVJM

Aos meus amados pais, Wagner e Ana Paula, pelo amor, alegria, dedicação e pela formação que me deram, ensinando-me a seguir em frente, superando as dificuldades de forma íntegra e respeitando sempre ao próximo.

A minha irmã Mariana pelo amor, amizade e companheirismo de sempre e pela torcida ao longo de minha vida.

Aos meus avós, Desdedith e Maria Aparecida, Antônio e Iraci, pelo amor incondicional, apoio e confiança.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me ajudar a superar as dificuldades que surgiram nesse caminho, ter me dado determinação para alcançar meus objetivos, colocado pessoas incríveis ao meu lado e me encher de fé e esperança para enfrentar o que vem em frente.

Aos meus pais Wagner e Ana Paula, meus avós Desdedith, Maria Aparecida, Antônio e Iraci e minha irmã Mariana, por terem feito o possível e o impossível para que eu pudesse concretizar esse sonho. A vocês meu eterno amor.

Aos meus amigos da vida toda, mesmo com distância (que não foi pouca) foram presentes em todos os momentos, compartilhando das alegrias e superando as dificuldades. Amo vocês.

A Tia Marina e Tan, por todo carinho e apoio.

Ao Julio, por me ajudar na concretização desse trabalho, tornar os momentos complicados mais leves, me apoiar nas decisões mais difíceis e me aguentar (kkkkk). Obrigada por tudo!

Aos amigos que fiz durante essa trajetória, vocês fazem parte da minha história e os levarei sempre em meu coração.

Mariane (Candeias), sua alegria e loucura contagiam todos a seu redor. Obrigada por sua ajuda e amizade, que ela perdure além da distância.

Arcangelooo, sobrevivemos ao Moura, laboratório (esse foi por pouco kkk) e estamos encerrando essa etapa juntos. Obrigada por sua amizade, companheirismo e ajuda.

Meu orientador, Professor Saulo pela confiança e ensinamentos.

Norberto, muito obrigada pelo acolhimento, confiança e orientação. Você foi de suma importância para a concretização dessa etapa.

Aos funcionários da Fazenda do Moura, que tornaram minha morada mais agradável. Ronald, Wal, Net, Geraldo, Netinho, Cicinho, Reinaldo, Karine, Zé Lito, Marcio, Mario, Vicente, Alex, Liu e Vitinho, vocês são pessoas maravilhosas.

Ao Professor Gustavo Henrique de Frias Castro e a técnica de laboratório Elizandra Giardin pela ajuda e cooperação dada durante os trabalhos laboratoriais.

Aos professores, Dr. Antônio Ricardo Evangelista e Dr. Severino Delmar Junqueira Villela, que aceitaram o convite de participarem dessa banca e por contribuírem em minha formação.

A Elisangela, por toda apoio e colaboração.

Muito obrigada a todos que contribuíram de forma direta e indireta para realização desse projeto.

A Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, por minha formação.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

BIOGRAFIA

NATALIA DE AVILA SOARES, filha de Wagner Lúcio Soares e Ana Paula de Avila, nasceu em Diamantina, MG, em 14 de fevereiro de 1991.

Ingressou em agosto de 2009 na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, *campus*- Ilha Solteira, onde obteve o título de Zootecnista em 2014.

Em abril de 2014, ingressou no programa de Mestrado em Zootecnia na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri *campus* JK- Diamantina, MG, área de concentração Produção e Nutrição de Ruminantes.

Em 19 de abril de 2016, submeteu-se aos exames finais de defesa de dissertação, para a obtenção do título de *Magister Scientiae* em Zootecnia.

RESUMO

Objetivou-se com esse trabalho avaliar os efeitos da inclusão de níveis do farelo de crambe (*Crambe abyssinica* Hoechst), no perfil fermentativo e valor nutricional da silagem de cana-de-açúcar avaliados em diferentes tempos de abertura dos silos. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental do Moura, pertencente à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), localizada no Município de Curvelo, MG e as análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da UFVJM, Campus Diamantina, MG. Foi adotado um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 4, sendo quatro níveis de adição do farelo de crambe (FC: 0; 5, 10 e 20%, com base na matéria natural) e quatro tempos de abertura dos silos (10; 20; 30; 60 dias após a confecção das silagens), com quatro repetições. Para a avaliação da composição bromatológica usou-se: matéria seca (MS); matéria orgânica (MO), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDN_{cp}), fibra em detergente ácido (FDA), carboidratos totais (CT), carboidratos não fibrosos (CNF) e nutrientes digestíveis totais calculados (NDT_{calculado}). Para o perfil fermentativo foram avaliados os valores da atividade de água (Aw), potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), carboidratos solúveis (CHOs) e nitrogênio amoniacal (N-NH₃). Os dados foram submetidos à análise de regressão ($P > 0,05$). Para variável EE, foi observado efeito de dose e tempo ($P > 0,05$). Para a interação dos fatores (níveis de inclusão do FC x tempo de abertura) observou-se efeito para MS, MM, PB, MO, FDN_{cp}, FDA, CT, CNF, NDT_{calculado}, CE, AW, CHOs, pH e N-NH₃. A adição do farelo de crambe na ensilagem de cana-de-açúcar promoveu melhorias na composição bromatológica, uma vez que houve elevação nos teores de MS, PB, CNF, além da redução nos componentes fibrosos (FDN_{cp} e FDA), proporcionando assim um alimento de melhor qualidade. As alterações promovidas pela adição do FC até os 20% de inclusão na ensilagem de cana não comprometeram o perfil fermentativo da massa ensilada. A inclusão do FC é indicada até o nível de 10% (com base na matéria natural), uma vez que maiores inclusões acarretam em aumento desfavorável da matéria seca, nitrogênio amoniacal e redução dos teores de carboidratos solúveis. A partir dos 30 dias após ensilagem, o material ensilado já apresentava tendência à estabilização.

Palavras-chave: Silagem. Crambe abyssinica Hoechst. Aditivo absorvente. Composição bromatológica. Perfil fermentativo.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effects of inclusion levels of crambe meal (*Crambe abyssinica* Hoechst) the fermentative profile and nutritional value of the silage sugarcane evaluated in different opening times of the silos. The experiment took place at the Experimental Farm of Moura, belonging to the Federal University of the Jequitinhonha and Mucuri Valleys (UFVJM), located in the municipality of Curvelo, MG and the laboratory analyzes performed at the Animal Nutrition Laboratory, Department of Animal Science UFVJM Campus Diamantina, MG. A completely randomized 4 x 4 factorial design was adopted, with four levels of addition of crambe meal (CM: 0, 5, 10 and 20%, based on natural materials) and four days of opening of silos (10; 20; 30; 60 days after the opening of silos), with four replicates. For the evaluation of the chemical composition was used: dry matter (DM), organic matter (OM), mineral matter (MM), crude protein (CP), ether extract (EE), neutral detergent fiber corrected for ash and protein (NDFap), acid detergent fiber (ADF), total carbohydrates (TC), non-fibrous carbohydrates (NCF) and total digestible nutrients calculated (TDN calculated. Regarding the fermentative profile were evaluated: water activity (AW), hydrogenionic potential (pH), electrical conductivity (EC), soluble carbohydrates (sCHT), ammonia-nitrogen concentration (N-NH₃). Data were subjected to regression analysis ($P > 0.05$). For variable EE, only dose and time effect was observed ($P > 0.05$). For the factors' interaction (levels of inclusion of CM x opening time) was observed effect for MS, MM, CP, MO, NDFap, ADF, TC, NFC, TDN, CE, AW, sCHT, pH and N-NH₃. The addition of crambe meal in sugarcane silage boosted the chemical composition, since there was an increase in DM, CP, NFC, and a reduction in fibrous components (NDFap and ADF), thus providing better quality food. The changes promoted by the addition of the FC to the 20% inclusion in cane silage did not affect the fermentation characteristics of silage. The inclusion of the FC is given to the level of 10% (based on natural matter), since larger inclusions lead in an unfavorable increase in dry matte, ammonia nitrogen and reduced levels of carbohydrates. From 30 days after ensiling, the ensiled material already presented tendency towards stabilization

Keywords: Silage. *Crambe abyssinica* Hoechst. Adsorbent additive. Chemical composition. Fermentation profile.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1. Silagem.....	12
2.2. Silagem de Cana-de-Açúcar	13
2.3. Farelo de crambe (<i>Crambe abyssinica</i> Hoechst)	14
2.4. Qualidade de Silagem.....	16
2.5. Aditivos para o processo de ensilagem	17
2.5.1. Fornecedores de nutrientes e sequestradores de umidade.....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1. Local de realização do experimento	19
3.2. Delineamento experimental.....	19
3.3. Processo de Ensilagem	19
3.4. Avaliações experimentais.....	22
3.4.1. Perfil fermentativo das silagens experimentais	22
3.4.2. Análises bromatológica das silagens experimentais	23
3.5. Análise estatística	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	26
5. CONCLUSÃO.....	46
6. REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma cultura importante para amenizar os impactos da sazonalidade da produção forrageira, sendo esta amplamente utilizada para suprir o déficit alimentar que acomete a pecuária nacional durante o período seco do ano. Por ser uma cultura que apresenta alta produtividade, ampla “janela de corte” e baixo custo por unidade de massa seca de forragem produzida, a cana se torna uma boa opção para ser utilizada como alimento volumoso durante o período desfavorável para o crescimento forrageiro.

Tradicionalmente, a cana-de-açúcar é colhida durante a estação seca, devido ao maior teor de matéria seca aliado ao elevado teor de açúcar em sua composição, sendo esta forrageira ofertada aos animais na forma fresca e picada no cocho e, quase sempre, misturada a outros ingredientes concentrados. Em especial, devido ao baixo teor de proteína bruta, o fornecimento da cana-de-açúcar está sempre associado à inclusão de uma fonte proteica (quase sempre a ureia) para incrementar os níveis deste nutriente no volumoso em questão.

Atualmente, um dos grandes problemas da atividade pecuária consiste na baixa disponibilidade de mão-de-obra, o qual obriga os pecuaristas a racionalizarem as operações da fazenda para otimizarem este importante componente do sistema de produção – o trabalhador rural (campeiro). Assim, o corte diário da cana-de-açúcar tem sido um entrave em muitas regiões produtivas, o que tem motivado a busca por soluções para tentar amenizar os efeitos da baixa disponibilidade de mão-de-obra.

Neste contexto, uma interessante alternativa para racionalizar a utilização da cana-de-açúcar como alimento volumoso, para ser utilizado durante a estação seca, consiste na adoção do processo de ensilagem desta cultura. Com a ensilagem da cana há grande concentração de mão-de-obra apenas durante o período de confecção do silo, tornando o trato diário posterior uma tarefa mais fácil de ser executada quando comparado com o corte diário desta forrageira.

Embora a cana-de-açúcar apresente satisfatório teor de matéria seca, boa concentração de carboidratos solúveis e baixo poder tamponante, o processo fermentativo é geralmente dominado por leveduras, havendo assim produção excessiva de álcool, resultando em perdas efetivas de matéria seca. Aliado a isso, a cultura apresenta alto teor de fibra indigestível e baixo teor de proteína bruta. Dessa forma, o uso de aditivos é imprescindível para reduzir as perdas durante a ensilagem e melhorar a qualidade nutricional e fermentativa do volumoso a ser produzido.

Na busca por aditivos para serem incluídos no processo de ensilagem, os coprodutos da agroindústria têm despertado grande interesse por parte de pesquisadores e pecuaristas, uma vez que há grande preocupação com a sustentabilidade ambiental e pode contribuir para redução dos custos de produção da atividade pecuária. Em especial tem sido preconizada a utilização de coprodutos com alto teor de matéria seca (absorvente) e com elevado teor de nutrientes para incrementar o perfil fermentativo e o valor nutritivo do produto final – a silagem.

O farelo de crambe é um coproduto da planta oleaginosa crambe (*Crambe abyssinica* Hoechst), sendo este obtido após a extração de biocombustível deste vegetal. Por apresentar alto teor de proteína bruta e alto teor de matéria seca, o que lhe confere propriedades absorventes/nutritivas, o farelo de crambe vem sendo utilizado recentemente na alimentação animal, em especial na nutrição de ruminantes. Todavia, são poucas as informações disponíveis na literatura sobre o potencial da utilização do farelo de crambe como aditivo para o processo de ensilagem.

Pelo exposto, objetivou-se com esse trabalho avaliar os efeitos da inclusão do farelo de crambe, tanto no perfil fermentativo quanto no valor nutricional da silagem de cana-de-açúcar.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Silagem

A estacionalidade da produção de forragem é um dos maiores desafios da pecuária brasileira. Existe grande oscilação da produção de forragem entre diferentes épocas do ano (seca e chuvosa), fazendo com que a produção seja desuniforme, característica esta extremamente desfavorável, uma vez que, sistemas de produção animal possuem um perfil de demanda característico e definido durante todo o ano. Desse modo, é essencial equacionar a distribuição da produção de volumoso ao longo do ano, diminuindo assim, as variações no desempenho e produção animal (CORSI, 2004).

Desta forma, torna-se necessária a manutenção da oferta e qualidade de volumoso durante o ano todo, garantindo assim o bom desempenho animal, uma vez que a forrageira a ser oferecida tende a suprir grande parte das exigências nutricionais dos animais. A conservação de forragem consiste em conservar o máximo possível o valor nutricional do volumoso, para que esse esteja disponível para alimentação animal por maior tempo. Dentre as técnicas de conservação de forrageiras, a ensilagem vem sendo a principal estratégia para atender as demandas alimentares durante o período de escassez de forragem (PEREIRA et al., 2006).

A produção de silagem de boa qualidade requer, de maneira contundente, uma gestão precisa dos diversos estágios do processo de ensilagem até a obtenção do produto final – a silagem. A gestão desses processos consiste na colheita, picagem, compactação e armazenamento sob condições de anaerobiose (BERNARDES; WEINBERG et al., 2013). A fase anaeróbia consiste na fermentação de açúcares por bactérias, com produção de ácidos orgânicos e, consequentemente, rápida redução de pH da massa ensilada.

A ensilagem tem como objetivo principal preservar ao máximo os nutrientes encontrados na forrageira fresca, com o mínimo de perdas de matéria seca e energia (PEREIRA et al., 2007).

Em função da vasta extensão territorial do Brasil somado a grande variação edafoclimática, uma gama de espécies forrageiras pode ser cultivada para o processo de ensilagem, apresentando ótimos resultados quantitativos e qualitativos, tornando as silagens capazes de suprir, em grande parte, as exigências nutricionais demandadas pelos animais, de acordo com o potencial produtivo dos mesmos. Entretanto, a espécie a ser ensilada deve apresentar atributos importantes para aperfeiçoar o processo de ensilagem, tais como adequado teor de matéria seca, satisfatória concentração dos carboidratos solúveis e baixo

poder tampão. Desta forma, a escolha da planta forrageira para ser utilizada na ensilagem deve ser feita de forma criteriosa, respeitando as características agronômicas e bromatológicas da forragem para obtenção de um volumoso de alta qualidade (SIQUEIRA; BERNARDES, 2013).

Entre os vegetais mais cultivados para o processo de ensilagem, o milho e o sorgo têm sido amplamente adotados por grande parte dos pecuaristas, por atenderem as características necessárias para uma silagem de qualidade. O excedente de capins crescido durante o período das águas também tem sido utilizado para a produção de silagem para suprir o déficit de alimentos volumosos na estação seca. Atualmente, a cana-de-açúcar, uma cultura de grande relevância para a produção pecuária, também tem sido bastante empregada no processo de ensilagem. Porém, o uso de capins e da cana-de-açúcar para o processo de ensilagem só resultará em um volumoso de qualidade, se houver uso de aditivos que atendam aos fatores inadequados apresentados por essas forrageiras.

2.2. Silagem de Cana-de-Açúcar

O uso da cana-de-açúcar tem sido considerado por muitos pesquisadores como opção de forrageira de melhor desempenho bioeconômico para alimentação de ruminantes (REIS et al., 2013), uma vez que tem alta produtividade menor exigência nutricional, facilidade de cultivo, colheita nos períodos de estiagem, rusticidade, tolerância a pragas e doenças, e alta produção de energia por hectare (SIQUEIRA; BERNARDES, 2013).

Normalmente, essa forrageira é cortada diariamente e fornecida picada no cocho, de acordo com a necessidade do rebanho. Entretanto, esta prática dificulta a utilização, em função da exigência diária de mão-de-obra e maquinário. Assim, a ensilagem aparece como uma forma para contornar essa limitação, concentrando assim, a mão de obra, reduzindo o trabalho e o deslocamento diário de máquinas, já que as atividades que exigem maior aporte de pessoas e maquinário são realizadas apenas no momento da ensilagem restrito a um período curto de tempo (FREITAS et al., 2006).

Em relação às características da cana para o processo de ensilagem, esta consiste em uma cultura rica em carboidratos solúveis, que são utilizados rapidamente como substrato para os microrganismos fermentadores, baixo poder tampão, que em combinação com a adequado teor de MS da cultura, desencadeia um rápido decréscimo do pH dessas silagens (SIQUEIRA et al., 2011). Essas características proporcionam uma elevada capacidade fermentativa para a cultura de cana-de-açúcar.

No entanto, a cana possui uma microflora epífita rica em leveduras, algumas que necessitam de oxigênio para crescer e outras que se desenvolvem em condições anaeróbias, podendo manter altas populações nessas condições, em decorrência da fermentação dos açúcares (WALKER, 1998). Durante o processo de ensilagem da cana-de-açúcar, onde a queda do pH é rápida, as leveduras dominam o processo fermentativo, uma vez que possuem habilidade de crescer em intervalos de pH de 2 a 8, não sendo inibidas pela redução do pH do alimento. Essa característica permite que as leveduras ocupem diversos nichos ambientais, quando comparada às bactérias, além do etanol, principal produto da sua fermentação ser tóxico a muitos microrganismos (McDONALD et al., 1991; WALKER, 1998).

Apesar das dificuldades para se produzir uma silagem de cana-de-açúcar de boa qualidade, o processo de ensilagem justifica-se por permitir um melhor manejo agrônomo da cultura, além de ser uma forma de estocar grande quantidade de volumoso (SIQUEIRA; BERNARDES, 2013).

Atualmente diversos trabalhos têm sido conduzidos para avaliar o perfil fermentativo e o valor nutritivo das silagens de cana-de-açúcar. De acordo com Schmidt (2007), a maior parte dos trabalhos sobre silagens de cana visam estudar aditivos que controlam as perdas durante a ensilagem. Resultados satisfatórios para silagem de cana-de-açúcar foram obtidos com o uso de aditivos sequestradores de umidade, como o uso do rolão de milho (ANDRADE et al., 2001; BERNARDES et al., 2007), resíduo da colheita de soja (FREITAS et al., 2006), coprodutos do biodiesel (MORAIS, 2012).

2.3. Farelo de crambe (*Crambe abyssinica* Hoechst)

O crambe (*Crambe abyssinica* Hoechst) é uma oleaginosa pertencente à família das *Brassicaceae* (FUNDAÇÃO MS, 2010). Como oleaginosa, possui alto potencial para produção de biodiesel, devido ao seu elevado teor de óleo nos grãos (CARDOSO et al., 2012). Planta de inverno, originária do Mediterrâneo tem sido cultivada na África, Ásia, Europa, Estados Unidos, México e América do Sul, como cultura para cobertura do solo (GOES et al., 2010).

Em paralelo ao estímulo para produção de biodiesel, a cultura do crambe vem sendo disseminada no país, devido a sua boa produção principalmente na região centro-oeste brasileira. Os estados do Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais (Triângulo Mineiro), e Mato Grosso são, atualmente, os maiores produtores dessa oleaginosa no Brasil (OLIVEIRA, 2010).

A variação no processo de extração do óleo para produção de biocombustíveis gera coprodutos com características diferentes. A torta de crambe é resultante da extração mecânica do óleo (esmagamento), enquanto o farelo de crambe é obtido a partir da extração com solventes específicos, sendo esta forma mais eficiente para a remoção do óleo (FUNDAÇÃO MS, 2010).

Os coprodutos gerados a partir do crambe (farelos e tortas) podem vir a ser utilizados na produção animal como concentrado proteico, em substituição a outros alimentos como, farelo de soja, caroço ou torta de algodão, uma vez que apresentam teores de proteína bruta superiores a 20% (FUNDAÇÃO MS, 2010).

De acordo com Anderson et al. (1993), a utilização do farelo de crambe como suplemento para alimentação de ruminantes não apresentou diferença quando comparado aos resultados obtidos com os farelos de soja e de girassol.

O farelo de crambe foi estudado como fonte de proteína para alimentação de ruminantes (PERRY et al., 1979), por ser rico em aminoácidos como a cisteína, metionina, lisina e a treonina, que são normalmente, deficientes em outras oleaginosas (GOES et al., 2010). Quanto a composição bromatológica dos coprodutos do crambe, os subprodutos da extração do óleo do crambe, apresentam teores de nutrientes muito desejáveis para a alimentação dos ruminantes. No farelo ocorre a elevação do teor proteico para 33% e redução do extrato etéreo para 1,99%, indicando ser este o coproduto de maior interesse na alimentação de ruminantes (SOUZA et al., 2010).

No entanto, há um nível elevado de glicosinolato no crambe, um fator considerado antinutricional produzido a partir do metabolismo secundário de plantas pertencentes ao gênero *Brassica* da família *Brassicaceae*. O glicosinolato exerce diversas funções na planta, como defesa contra patógenos, metabolismo do enxofre e nitrogênio e regulação do crescimento deste vegetal. Além disso, também assumem um papel importante na defesa da planta contra os efeitos do estresse gerado por condições climáticas extremas de temperatura e pressão (SOUZA et al., 2010).

O glicosinolato, quando intactos, não são tóxicos aos animais, apesar dos produtos da hidrólise, pela ação da enzima glicosinolase apresentar toxidez. A enzima glicosinolase, catalizada pela mirosinase, reage com o glicosinolato quando os tecidos das plantas são quebrados, pelo processo de flocação, mastigação ou ataque microbiano no rúmen (HENTZ, 2010).

Em dietas para ruminantes o glicosinolato é facilmente degradado pelos microrganismos ruminais, tendo, portanto, baixo efeito sobre os ruminantes em consumos no

curto prazo. Como resultado dessa degradação ocorre à liberação de glicose, isiotiocianetos, nitritos e goitrina. Como resultado dessa degradação, pode ocorrer interferência no tamanho, na estrutura e na função da glândula tireoide, inibindo a síntese e secreção dos hormônios tireoidianos tiroxina (T4) e triiodotironina (T3), resultando na redução da eficiência alimentar e no ganho de peso (FIGUEIREDO et al., 2003).

Durante o processo de extração do óleo existente na agroindústria, necessita-se de temperaturas mínimas para desativar a enzima mirosinase (HENTZ, 2010), o que possibilita a utilização do farelo de crumbe como fonte de proteína na dieta de ruminantes.

2.4. Qualidade de Silagem

Conhecer a qualidade dos alimentos que compõem a nutrição animal é de suma importância para eficiência na cadeia produtiva, uma vez que os gastos com alimentação representam a maior parte dos custos na atividade pecuária. Assim, o emprego de tecnologia adequada na produção de alimentos é fundamental para incrementar a produtividade animal e a rentabilidade do pecuarista (JOBIM et al., 2007).

Nesse contexto, quando se refere a forrageiras conservadas o valor nutricional pode sofrer alterações de acordo com os procedimentos adotados para confecção como, por exemplo, ensilagem e fenação, onde os fenômenos bioquímicos e microbiológicos vão interferir diretamente nas características qualitativas do volumoso. No caso da silagem, o perfil fermentativo afeta diretamente a qualidade deste alimento, influenciando o consumo alimentar e a concentração dos nutrientes presentes neste volumoso.

Segundo Araújo et al. (2007), a obtenção de uma silagem de qualidade depende principalmente do estágio de desenvolvimento da forrageira no momento da colheita. O teor de matéria seca é considerado como o fator de maior importância no processo de fermentação, e está diretamente associado ao estágio da planta durante a colheita (MCDONALD et al., 1991). Plantas colhidas com baixo teor de MS e teores marginais de carboidratos solúveis colocam em risco a conservação, pois podem favorecer a ocorrência de fermentações secundárias, resultando em maiores perdas de matéria seca (VILELA, 1998).

Portanto, devido às adversidades que podem ocorrer durante o processo de ensilagem e as variações que a forrageira pode apresentar durante a colheita, é imprescindível a avaliação da qualidade da forrageira conservada para se adequar a dieta animal. O desenvolvimento de técnicas visando avaliar a qualidade da silagem tem evoluído em conjunto com os demais processos como: desenvolvimento de equipamentos e processamento; desenvolvimento de métodos e estruturas de armazenamento; variação nas

necessidades das rações animais para aumento do seu potencial produtivo (JOBIM et al., 2007).

2.5. Aditivos para o processo de ensilagem

A produção de silagem de qualidade depende do sucesso durante o processo de ensilagem, para isso, em algumas circunstâncias, se faz necessário o uso de produtos externos que modulem o processo fermentativo, a fim de diminuir as perdas durante a ensilagem. A utilização de aditivos para melhorar a qualidade da silagem seria a última etapa, todavia uma etapa de grande importância para esta estratégia de conservação. Antes de acrescentar o aditivo à ensilagem, deve-se respeitar todas as variáveis agronômicas, para então proceder a utilização de aditivos para incrementar o perfil fermentativo e a qualidade nutritiva da silagem. (SIQUEIRA et al., 2013).

Os aditivos podem exercer diversas funções no processo de ensilagem, e em função dos benefícios esperados os aditivos podem ser classificados em quatro categorias: 1- estimuladores de fermentação; 2- inibidores de fermentação; 3- inibidores de deterioração aeróbia, e 4- fornecedores de nutrientes e sequestradores de umidade. Alguns aditivos podem adequar-se a mais de uma categoria simultaneamente (KUNG et al., 2003).

De acordo com Kung et al. (2003), os efeitos esperados com o uso de aditivos são:

1. Inibição do crescimento de microrganismos aeróbicos (especialmente os associados com instabilidade aeróbia, ex: leveduras e fungos, e os associados a qualidade sanitária, ex: *Listeria monocytogenes*.
2. Inibição do crescimento de microrganismos indesejáveis.
3. Inibição da atividade da planta e das proteases microbianas e deaminases.
4. Fornecimento de substratos fermentáveis para bactérias acidoláticas.
5. Adição de microrganismos benéficos para dominar a fermentação.
6. Fornecimento de nutrientes que estimulam o crescimento de microrganismos benéficos.
7. Formação de produtos que estimulem o consumo e o desempenho animal.
8. Aumento da recuperação de matéria seca e de nutrientes.

2.5.1. Fornecedores de nutrientes e sequestradores de umidade

As forrageiras tropicais apresentam níveis de açúcares solúveis abaixo do crítico estabelecido para uma adequada fermentação e, ainda, quando colhidas no ponto adequado de valor nutritivo, essas forragens apresentam baixo teor de matéria seca em sua composição.

A introdução de determinados coprodutos da agroindústria como aditivos tem sido prática amplamente difundida na alimentação de ruminantes, visando o alto potencial para reduzir o custo de produção e, ainda, diminuir possíveis impactos ambientais causados pelo lançamento desses “resíduos” indiscriminadamente no meio ambiente. Tendo um uso mais racional, os coprodutos com características absorptivas e teores elevados de PB ou carboidratos solúveis em sua composição, podem contribuir efetivamente para melhorar o perfil fermentativo e o valor nutricional da silagem, promovendo maior eficiência para a atividade pecuária.

O farelo de crambe, coproduto da indústria de biodiesel, se enquadra perfeitamente nesse quesito, uma vez que tem alto teor de matéria seca e apresenta aproximadamente 37% de PB, podendo, no nível de inclusão adequado, melhorar o perfil fermentativo e nutricional da silagem.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local de realização do experimento

O estudo foi conduzido na Fazenda Experimental do Moura, pertencente a Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), localizado no Município de Curvelo, Minas Gerais, sito às coordenadas geográficas 18°44'52,03" de latitude Sul e 44°26'53,56" de longitude Oeste. De acordo com a classificação de Koppen (1948), o clima na região é do tipo Aw, tropical de savana, com temperatura média anual de 22°C, precipitação média anual de 1.300 mm e estações, chuvosa no verão e seca no inverno, bem definidas.

As análises laboratoriais referentes ao perfil fermentativo e a composição bromatológica das silagens foram realizadas na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), no Laboratório de Nutrição Animal pertencente ao departamento de Zootecnia (DZO), situado no município de Diamantina-MG.

3.2. Delineamento experimental

Foi adotado um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 4, sendo quatro níveis de adição do farelo de crambe (0; 5, 10 e 20%, com base na matéria natural) e quatro tempos de abertura (10; 20; 30; 60 dias após a confecção dos silos experimentais). Foram utilizadas quatro repetições para cada tratamento, totalizando 64 silos experimentais.

3.3. Processo de Ensilagem

Os silos experimentais utilizados foram confeccionados em tubos de PVC, cujas dimensões foram 33 e 9,8cm de altura e diâmetro, respectivamente, equipados com tampa colada e vedada no fundo e tampa superior com borracha de vedação na lateral e válvula tipo "Bunsen" para livre escape dos gases. A massa específica (ou densidade de compactação, expressa em kg de massa verde por m³) adotada no presente estudo correspondeu a 600kg MV/m³ para todos os tratamentos.

No fundo de cada silo experimental foi colocada uma camada fina (5cm) de areia lavada, com mesmo volume, para todas as unidades experimentais (silos), sendo esta previamente esterilizada em estufa a 105°C por 6 horas e colocada para esfriar no ambiente até a estabilização da temperatura. Além da areia, uma tela de polipropileno (sombrite) com

gramatura de 2mm foi utilizada para separar a camada de areia (inferior) da massa ensilada (porção superior). Este procedimento foi adotado para absorver o líquido (umidade que normalmente se lixivia) durante o processo de ensilagem.

No presente estudo foi utilizada a cana-de-açúcar variedade RB867515, plantada em novembro de 2012, na fazenda experimental do Moura, em uma área de aproximadamente 4 ha.

O farelo de crambe, utilizado como aditivo na ensilagem de cana-de-açúcar, foi adquirido por meio de doação pela empresa Caramuru, sendo este utilizado sem necessidade de tratamento prévio. É importante salientar que as características físicas do farelo de crambe se assemelham bastante com a estrutura do farelo de soja, em especial granulometria e densidade.

As composições bromatológicas da cana-de-açúcar e do farelo de crambe no momento da ensilagem são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Composição bromatológica da cana-de-açúcar e do farelo de crambe no momento da ensilagem

Itens	Cana-de-açúcar	Farelo de crambe
MS (g/kg)	278,76	852,30
MO (g/kg)	254,79	778,31
MM (g/kg)	23,97	73,99
PB (g/kg)	31,63	373,40
EE (g/kg)	27,21	6,88
FDNcp (g/kg)	601,02	337,64
FDA (g/kg)	351,13	231,33
CT (g/kg)	917,20	545,73
CNF (g/kg)	316,18	208,09
NDT _{estimado} (g/kg)	534,66	735,91
DMS _{estimado} (g/kg)	602,90	861,52
CE(mS/s)	0,44	2,66
pH	5,30	5,35
CHOS(%)	31,08	-
N-NH3 (%)	0,5732	-

MS=matéria seca; MO=matéria orgânica, MM= matéria mineral, PB= proteína bruta, EE= extrato etéreo, FDNcp= fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína, FDA= fibra em detergente ácido, CT= carboidratos totais, CNF= carboidratos não fibrosos, NDT_{estimado}= nutrientes digestíveis totais estimado, DMS_{estimado}= digestibilidade estimada da matéria seca, CE= condutividade elétrica, CHOs= carboidratos solúveis, N-NH3= nitrogênio amoniacal, pH= potencial hidrogeniônico.

O corte da cana-de-açúcar ocorreu no dia 15 de janeiro de 2014, quando a mesma apresentou 14 meses de crescimento. Para tanto, uma área de 100 m² foi cortada no centro do canavial. O corte foi realizado após um período de 15 dias de estiagem.

A cana-de-açúcar foi cortada no período da manhã (7:30h), de forma manual, com auxílio de ferramenta cortante(facão), sendo este feito rente ao solo. As plantas foram cortadas sem que a palhada fosse retirada. Imediatamente após o corte, este material foi recolhido, embarcado em carreta acoplada ao trator e encaminhado para o laboratório de Nutrição de Ruminantes, o qual foi desembarcado para ser imediatamente processado. Esta operação ocorreu no intervalo de aproximadamente uma hora.

A cana-de-açúcar (planta inteira) foi picada em maquina estacionária própria (picadeira) em partículas com tamanho variando entre 1,0 a 2,0 cm. O material picado foi então homogeneizado e reservado para a confecção dos silos experimentais.

Os silos experimentais foram lavados com solução de álcool 70% para desinfecção dos mesmos. Posteriormente os silos foram secos com papel toalha e acondicionados por 6 horas em caixas plásticas, também desinfetadas, para serem utilizados no presente estudo.

No dia da ensilagem, cada silo experimental foi submetido a três pesagens, sendo duas realizadas antes do enchimento: (1) silo vazio; (2) silo com areia + tela; e uma feita após o enchimento (3) silo com areia + tela + massa ensilada (silo cheio), todas estas pesagens foram feitas sem a tampa superior.

Para a confecção dos silos experimentais, a cana-de-açúcar picada e o farelo de crumbe foram pesados separadamente e, de acordo com o nível de inclusão do coproduto (farelo de crumbe) para cada tratamento, estes foram acondicionadas em baldes plásticos com capacidade de 10 litros para serem homogeneizados de forma manual. Vale ressaltar que a adição do farelo de crumbe (0; 5; 10 e 20%) foi feita com base no peso da matéria natural e que foi adotada a massa específica de 600kg/m^3 para todos os silos experimentais.

Após a homogeneização da massa ensilada (cana-de-açúcar + nível de adição do farelo de crumbe), o material foi acondicionado no seu respectivo silo experimental (previamente pesado e identificado), sendo compactado manualmente com auxílio de um soquete de madeira de 70cm de altura e 9cm de diâmetro. Este procedimento foi repetido para a confecção de cada silo experimental, independentemente do nível de inclusão do coproduto. Posteriormente ao enchimento, os silos foram pesados individualmente e fechados com a tampa superior, recebendo uma camada de gel de silicone na parte externa para conferir maior vedação. A confecção dos 64 silos experimentais foi feita no intervalo de 4 horas (8:30 às 12:30) do mesmo dia em que foi efetuado o corte da cana-de-açúcar.

Os silos experimentais, depois de fechados, foram armazenados no laboratório de Nutrição Animal/DZO, ambiente este fechado para proteção contra: luz solar direta, chuvas,

animais e altas temperaturas, permanecendo assim até o momento previamente definido para a abertura.

3.4.Avaliações experimentais

As avaliações do perfil fermentativo e da composição bromatológica foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da UFVJM, *Campus JK- Diamantina- MG*.

A fim de caracterizar o perfil fermentativo em função da adição do farelo de crambe na ensilagem de cana-de-açúcar, os silos experimentais foram abertos em quatro diferentes tempos previamente determinados, sendo, portanto, adotados 10; 20; 30; e 60 dias após a confecção dos mesmos.

Nos dias respectivos de abertura os silos foram abertos com auxílio de um martelo para a retirada da tampa, sendo descartada uma porção superior do silo (aproximadamente 5cm de profundidade). Após o descarte do material da superfície, a silagem foi totalmente removida do silo (com exceção do conjunto areia + tela), sendo então pesada e acondicionada em sacos plásticos identificados. A silagem foi então homogeneizada e amostras deste material foram coletadas para realização das avaliações a fresco. O restante foi mantido no saco plástico, o qual foi encaminhado para o freezer para ser congelado (-20°C) e, posteriormente, analisado.

3.4.1.Perfil fermentativo das silagens experimentais

Os parâmetros para determinação do perfil fermentativo das silagens avaliados no presente estudo foram: potencial hidrogeniônico; condutividade elétrica; nitrogênio amoniacal e teor de carboidratos solúveis.

A determinação do potencial hidrogeniônico (pH) foi realizada segundo os procedimentos descritos por Wilson e Wilkins (1972), que preconizaram a extração do suco de silagem fresca com o auxílio de uma prensa hidráulica e posterior aferição com potenciômetro.

Para a determinação da Condutividade Elétrica (CE) foram homogeneizados 25g de amostra fresca em 300ml de água deionizada durante um minuto, sendo, posteriormente, realizadas a filtragem e a leitura da solução de forma sequencial (KRAUS et al., 1997), sendo a CE expressa em mili-Siemens por segundo (mS/s).

O teor de Nitrogênio Amoniacal (N-NH₃) foi avaliado de acordo com a metodologia da Aoac (1990). Uma amostra de 30 ml de suco coletado da silagem foi

submetida à destilação com óxido de magnésio e cloreto de cálcio, usando-se ácido bórico como indicador misto de cor como solução receptora (vermelho de metila + verde bromocresol) e titulada com ácido clorídrico a 0,01 N. O teor de N-NH₃ foi expresso primeiramente em mg/100ml de suco de silagem e, posteriormente, após determinação dos teores de matéria seca e proteína bruta em porcentagem do nitrogênio total (%N-NH₃/%NT).

O Teor de Carboidratos Solúveis (CHOs) foi avaliado segundo a metodologia descrita por Bailey (1981), modificada por Valadares Filho (1997). Uma amostra previamente processada (seca em estufa ventilada a 55°C e moída em peneira de 1mm) é submetida a extração dos carboidratos solúveis por intermédio de solução alcoólica a 80% e solução ácida preparada com antrona e, posterior leitura em espectrofotômetro utilizando-se solução de glicose para preparo da curva padrão.

3.4.2. Análises bromatológica das silagens experimentais

As avaliações bromatológicas foram feitas tanto na cana-de-açúcar *in natura* e no farelo de crumbe, como também nas diferentes silagens após a abertura dos silos experimentais. Desta forma uma amostra uniforme de 300g foi retirada, identificada e pesada para pré-secagem em estufa de ventilação forçada à temperatura de 55°C por 72 horas. Após este período, as amostras pós-secas foram pesadas para determinação do teor de matéria seca parcial (ASA). Posteriormente, as amostras secas foram trituradas em moinho tipo Willey com peneira de 1mm e armazenadas em potes plásticos devidamente identificados.

Nas amostras dos alimentos estudados (cana-de-açúcar *in natura*, farelo de crumbe e silagens experimentais) foram realizadas as análises bromatológicas para determinação dos teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE) e matéria mineral (MM) segundo metodologia descrita pela AOAC (1995). Os teores de fibra em detergente neutro (FDN) foram obtidos de acordo com Mertens (2002), sem o uso de sulfato de sódio e utilizando-se amilase termoestável. Neste caso foi utilizado o sistema Ankom® para as avaliações de FDN, com modificação do saquinho utilizado (5,0 x 5,0 cm, porosidade de 100 µm), que foi confeccionado utilizando-se tecido não-tecido (TNT - 100 g/m²). Os teores de fibra em detergente ácido (FDA) e proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) e de lignina (ácido sulfúrico 72%) foram obtidos pelo método sequencial descrito por Robertson e Van Soest (1981) e pelo protocolo apresentado por Licitra et al. (1996). A FDN_{cp} foi determinada utilizando-se a FDN, sendo para tanto descontados os teores de cinza e de proteína bruta presente no resíduo original da FDN.

Com base nos resultados da composição bromatológica básica, descrita anteriormente, tornou-se possível à estimativa de determinados parâmetros que são apresentados a seguir:

- A matéria orgânica (MO) foi obtida pela diferença entre os teores de matéria seca e de cinzas presente na mostra:

$$MO (\%) = MS (\%) - Cinzas (\%)$$

- Os teores de carboidratos totais estimados ($CT_{\text{calculado}}$) foram calculados segundo a equação recomendada por Sniffen et al.(1992):

$$CT = 100 - (\%PB + \%EE + \%MM)$$

onde:

CT (%): carboidratos totais;

%PB: teor de proteína bruta determinado no alimento;

%EE: teor de extrato etéreo determinado no alimento;

%MM: teor de matéria mineral determinado no alimento.

- Os teores de carboidratos não fibrosos estimados ($CNF_{\text{calculado}}$) foram calculados segundo equação recomendada por Hall et al.(1999):

$$CNF = \%CT - \%FDN_{cp}$$

onde:

CNF (%): carboidrato não fibroso;

%CT: teor de carboidrato total determinado no alimento;

%FDN_{cp}: teor de fibra em detergente neutro corrigido para cinza e proteína determinado no alimento.

- Os teores de nutrientes digestíveis totais estimados ($NDT_{\text{calculado}}$) foram contabilizados segundo equações de regressão sugeridas por Capelle et al. (2001), sendo utilizadas uma equação para estimação do teor de $NDT_{\text{calculado}}$ para as silagens e outra para o teor de $NDT_{\text{calculado}}$ para o estimação de concentrados (no caso o farelo de crumbe):

$$\text{Para silagens: } NDT_{\text{calculado}} = 99,39 - 0,7641 \times \%FDN$$

onde:

$NDT_{\text{calculado}}$ silagens (%): nutrientes digestíveis totais estimados para silagens;

%FDN: teor de fibra em detergente neutro presente nas silagens;

Para o farelo de crambe: $NDT_{\text{calculado}} = 60,04 - 0,6083 \times \%FDA$

onde:

$NDT_{\text{calculado}}$ farelo de crambe (%): nutrientes digestíveis totais estimados para o farelo de crambe;

%FDA: teor de fibra em detergente ácido presente no farelo de crambe;

3.5. Análise estatística

Os resultados obtidos no presente estudo foram analisados utilizando-se o software SISVAR[®] (FERREIRA, 1999), sendo decompostos os efeitos de interação quando presentes. Os efeitos de interação entre os tratamentos estudados foram: 1-) perfil fermentativo: desdobramento de tempos de abertura dentro de doses de farelo de crambe; e 2-) composição bromatológica: doses de farelo de crambe dentro de tempos de abertura. O modelo estatístico utilizado neste estudo foi:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

y_{ijk} = efeito do i-ésimo nível do fator A (adição do farelo de crambe), no j-ésimo nível do fator B (tempo de abertura) na k-ésima repetição;

μ = média geral;

α_i = efeito do i-ésimo fator A (níveis de adição do farelo de crambe);

β_j = efeito do j-ésimo fator B (tempo de abertura dos silos);

γ_{ij} = efeito da interação entre α_i e β_j do i-ésimo tratamento, j-ésimo tempo de abertura e k-ésima repetição no tempo;

ε_{ijk} = componente do erro aleatório.

4.RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com relação ao perfil fermentativo houve efeito de interação entre os tratamentos estudados (tempos de abertura x doses de adição do farelo de crumbe) para as variáveis: potencial hidrogeniônico (pH), nitrogênio amoniacal (N-NH₃) e carboidratos solúveis (CHOS). As equações de regressão e seus respectivos coeficientes de regressão são apresentados na Tabela 2.

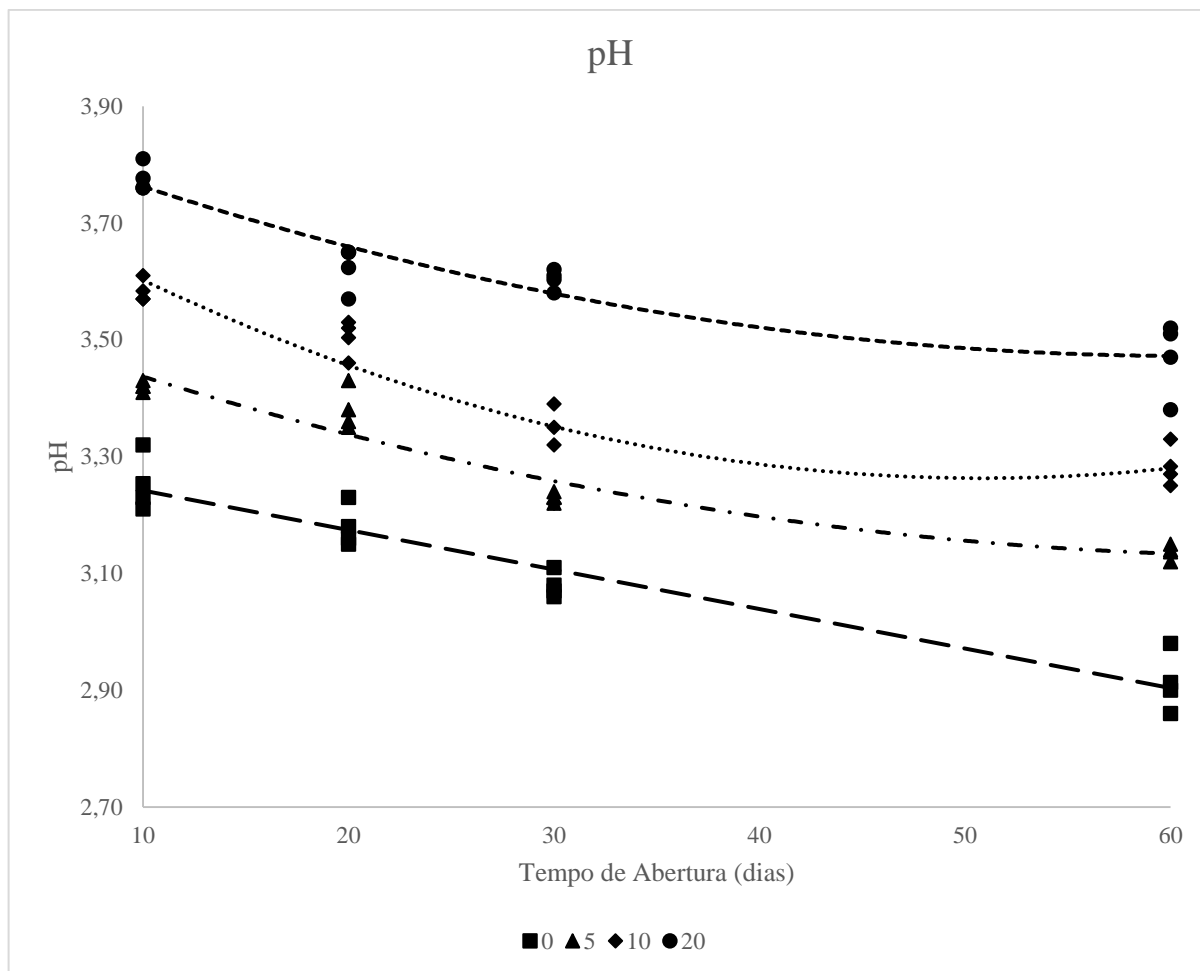
Tabela 2: Equações de regressão para os valores de: potencial hidrogeniônico, nitrogênio amoniacal e carboidratos solúveis das silagens de cana-de-açúcar em função da adição do farelo de crumbe (0, 5, 10 e 20%, na matéria natural) e do tempo de abertura (10, 20, 30 e 60 dias após a ensilagem)

Níveis x Tempos	Equação de Regressão	R ²
Potencial hidrogeniônico (pH)		
0	$Y = -0,0067x + 3,3095$	0,98
5	$Y = 0,0001x^2 - 0,0127x + 3,5550$	0,94
10	$Y = 0,0002x^2 - 0,0206x + 3,7855$	0,94
20	$Y = 0,0001x^2 - 0,0136x + 3,8872$	0,95
Nitrogênio amoniacal (N-NH₃)		
0	$Y = -0,0007x^2 + 0,0500x + 0,2802$	0,94
5	$Y = -0,0006x^2 + 0,0394x + 1,2674$	0,99
10	$Y = -0,0008x^2 + 0,0817x + 0,9596$	0,93
20	$Y = -0,0008x^2 + 0,0931x + 0,4771$	1,00
Carboidratos Solúveis (CHOS)		
0	$Y = 0,0094x^2 - 0,8443x + 22,2110$	0,99
5	$Y = 0,0056x^2 - 0,5014x + 12,8181$	0,96
10	$Y = 0,0038x^2 - 0,3461x + 9,6621$	0,98
20	$Y = 0,0022x^2 - 0,2257x + 7,4107$	0,96

Modelo de regressão (P>0,05).

O efeito de interação observado para a variável pH apontou valores maiores com os níveis de inclusão do aditivo e menores em função do tempo de abertura dos silos (FIGURA 1). Para o tratamento controle, foi observado comportamento linear, já para os tratamentos com inclusão do aditivo houve comportamento quadrático. Essa diferença de comportamento ocorreu em função do acréscimo do farelo de crumbe (FC) na massa ensilada. A adição deste coproduto acarretou efeito tampão na silagem da cana-de-açúcar, sendo este maior à medida que o nível de inclusão foi acrescido na massa ensilada.

Figura 1: Potencial hidrogeniônico (pH) das silagens experimentais de cana-de-açúcar com níveis de inclusão do farelo de crumbe (0%; 5%; 10% e 20%) em diferentes tempos de abertura 10; 20; 30 e 60 dias.



O aumento do pH, promovido pelos níveis crescentes de adição do farelo de crambe, ocorreu em função da ação de microrganismos presentes na silagem. O aumento do teor de MS e a queda da concentração de CHOs, resultou na redução de atividade dos microrganismos anaeróbios e substrato para os mesmos, resultando em menor produção de ácidos que resultariam no decréscimo do pH. O incremento de pH mediante a inclusão do farelo de crambe na massa ensilada também foi reportado por Bicalho (2014).

De acordo com Van Soest (1994), a relação carboidrato:proteína influencia diretamente os teores de pH de uma silagem. Esta afirmativa pode explicar o maior valor de pH determinado nas silagens com maior adição do FC, uma vez que o teor de proteína foi incrementado na massa ensilada pelo elevado percentual de nitrogênio encontrado neste aditivo (TABELA 1), resultando assim em desequilíbrio na relação carboidrato:proteína, logo apresentando efeito tampão.

É importante ressaltar que os valores de pH encontrados para as diferentes silagens de cana-de-açúcar avaliadas, tanto no tratamento controle como para a silagem de cana acrescidas de FC, encontraram-se dentro de uma faixa considerada adequada para este volumoso (2,7 a 3,8), valores estes reportados por Zopollato et al. (2009).

Comparado o pH no momento da ensilagem e aos 10 dias após o fechamento dos silos, para tratamento controle, observou-se um decréscimo de 2,05 unidades, saindo de um pH de 5,30 da cana *in natura* (TABELA 1) para 3,25. Esta resposta enfatiza que a queda mais acentuada do pH, durante o processo de ensilagem, ocorre nos primeiros dias, o que infelizmente não foi quantificado no presente estudo. A rápida redução do pH ocorre devido ao alto teor de carboidratos solúveis (31,7%) e ao baixo valor da capacidade tampão (1,2 meq de HCl/100 g de MS) que geralmente a cana-de-açúcar apresenta no momento adequado para o corte desta forrageira. Assim, sob condições adequadas, há acelerada redução nos valores de pH, principalmente nos primeiros dias após o fechamento do silo, o que torna condição primordial para a obtenção de uma silagem de qualidade (EVANGELISTA et al., 2009). De acordo com McDonald et al. (1991), a redução do pH é um dos principais fatores para o controle de clostrídeos e demais agentes deteriorantes durante a fermentação da massa ensilada.

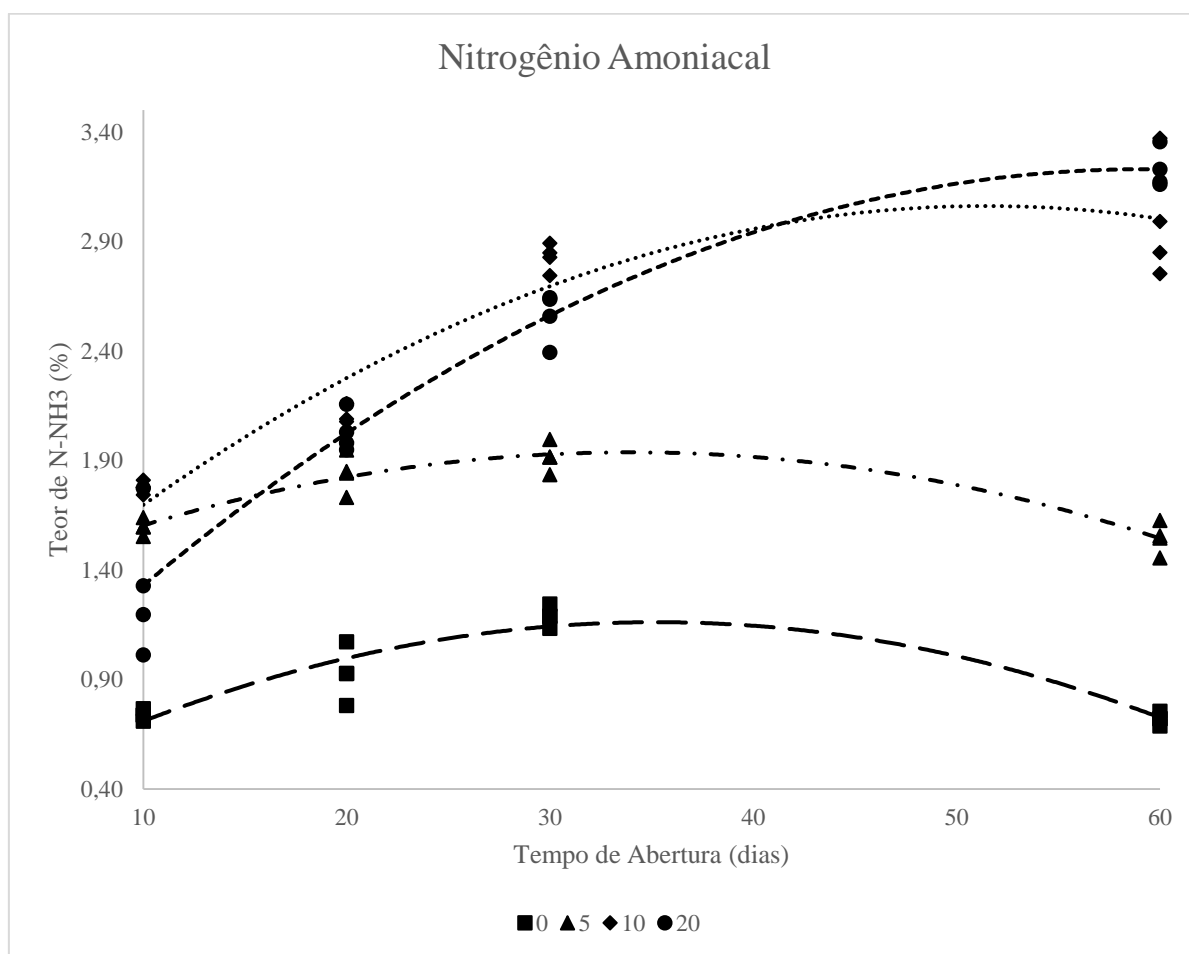
Evangelista et al. (2009) encontraram uma redução de 5,2 para 3,5 nos cinco primeiros dias na silagem de cana-de-açúcar, tanto no tratamento testemunha como aditivada com milho desidratado com palha e sabugo. Após esse período, a redução do pH foi menos acentuada, assim como também foi observado no presente trabalho.

Entre os 10 e 60 dias de abertura, o pH diminuiu 0,34, 0,28, 0,30 e 0,31 para os níveis 0; 5; 10 e 20% de inclusão do aditivo, respectivamente. Portanto, no presente estudo foi observada uma tendência a estabilização do pH após 30 dias da confecção dos silos. Estes resultados reforçaram a hipótese que a inclusão de farelo de crambe, até o nível máximo de inclusão neste estudo, mesmo apresentando poder tamponante, não ocasionou nenhum entrave que prejudicasse a redução do pH e a estabilidade deste nas massas ensiladas. Assim, de acordo com estes resultados, o FC pode ser utilizado como aditivo para a ensilagem de cana-de-açúcar.

A silagem de cana-de-açúcar, devido a sua rápida redução de pH, pode ser considerada uma silagem com baixa incidência de fermentação butírica. Entretanto, para Siqueira et al. (2007), apenas a produção de ácido láctico na ensilagem de cana-de-açúcar, principal responsável pela redução do pH, não representa eficiência de conservação, uma vez que as leveduras são capazes de assimilar esse ácido e produzir etanol. É importante ressaltar que o etanol não apresenta característica de preservação para silagem e, ainda, que este composto pode promover a perdas de MS, o que é extremamente prejudicial para o processo de ensilagem (JOBIM; NUSSIO, 2013).

Os valores de nitrogênio amoniacal ($N-NH_3$) tiveram comportamento quadrático para todos os tratamentos (TABELA 2). A interação doses x tempos acarretou aumento crescente do teor de nitrogênio amoniacal para os tratamentos com 10 e 20% de inclusão do FC (FIGURA 2). Os tratamentos controle e 5% de adição do FC apresentaram ligeiro acréscimo de $N-NH_3$ até o 30º dia de abertura, sendo observada redução do teor desta variável no tratamento com 60 dias após a ensilagem. Estes resultados sugerem que a adição do FC em quantidades mais elevadas (10 e 20%) proporcionaram grande disponibilidade de nitrogênio na massa ensilada, o que resultou em um perfil de conversão maior da proteína bruta em $N-NH_3$, fato este minimizado quando comparamos o perfil de conversão observado com os níveis de inclusão 0 e 5% do FC.

Figura 2: Nitrogênio amoniacal em porcentagem de nitrogênio total da silagem de cana-de-açúcar adicionado de 0%;5%;10% e 20% de farelo de crumbe em diferentes tempos de abertura 10;20;30 e 60 dias.



Os valores de $N-NH_3$ determinados nas silagens podem ser considerados baixos (0,74 a 3,23%), o que indica uma silagem de boa qualidade. Silveira (1975) também relatou que teores de $N-NH_3$ inferiores a 8% são indicativos para classificar uma silagem de boa

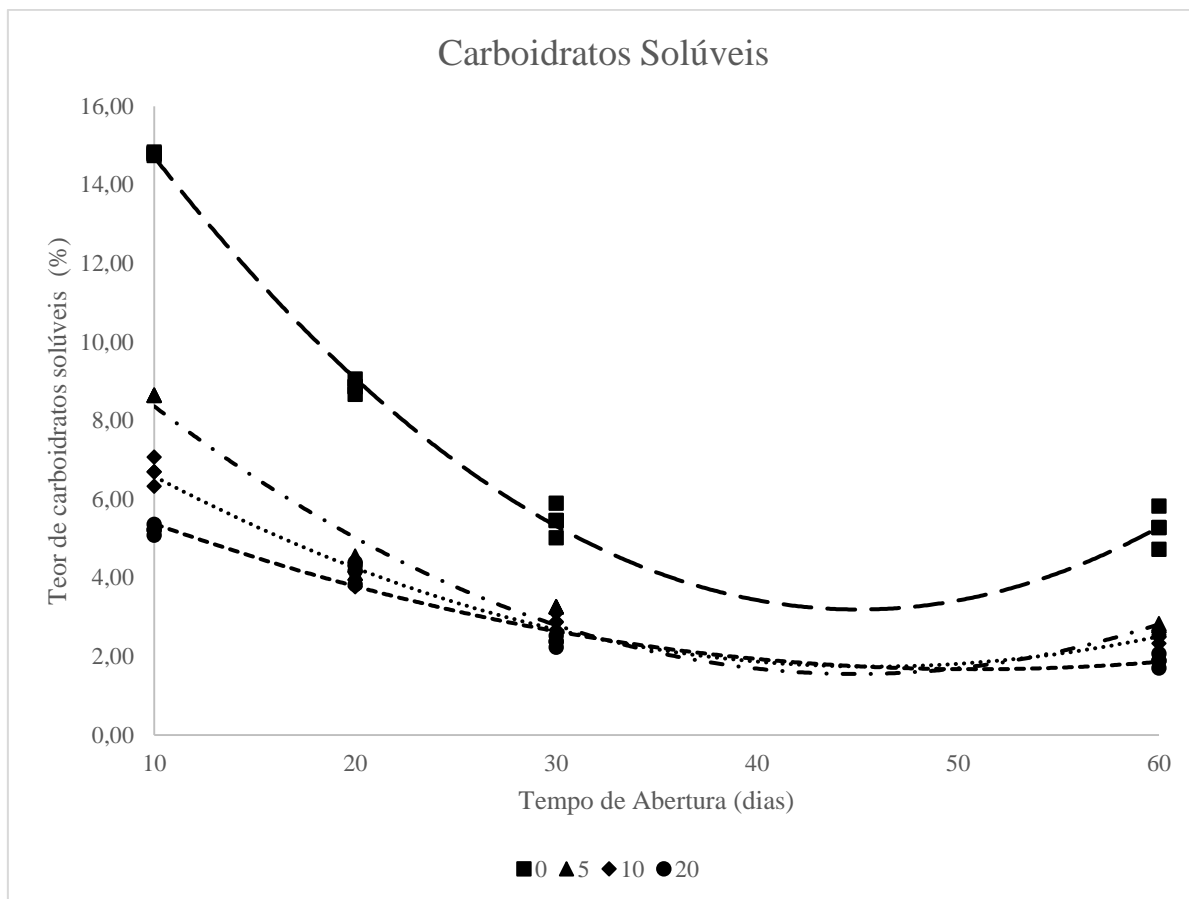
qualidade. Van Soest (1994) reportou que silagens com teores de nitrogênio amoniacal maiores que 10% sugerem que a fermentação da massa ensilada pode ter ocasionado conversão excessiva de proteína em amônia. Além disso, silagens com elevados teores de N-NH₃, em especial próximos a 15%, podem acarretar redução no consumo alimentar destes alimentos e, conseqüentemente, diminuição da produtividade dos animais.

Evangelista et al. (2009) observaram comportamento semelhante ao introduzir milho desidratado com palha e sabugo na ensilagem de cana-de-açúcar. Tanto a silagem controle como a aditivada com MDPS apresentaram valores abaixo de 1,5% de N-NH₃ durante os primeiros dias de fermentação, havendo após 20 dias de abertura um aumento do teor de nitrogênio amoniacal. Ambos os estudos as silagens aditivadas apresentaram em todos os tempos, teores de N-NH₃ maiores do que a silagem controle. De acordo com Evangelista et al. (2004), os conteúdos de N-NH₃ e de pH são amplamente utilizados na avaliação de qualidade das silagens, fornecendo informações importantes sobre o perfil fermentativo do processo de ensilagem.

A inclusão do farelo de crambe na ensilagem de cana-de-açúcar ocasionou para todos os níveis, aumento no teor de N-NH₃ da silagem. Esse aumento foi ainda mais intenso nos níveis 10 e 20% de inclusão, uma vez que o maior teor de proteína desses tratamentos serviu como substrato para microrganismos, tendo maior conversão da proteína em amônia. Com isso, pode-se entender que adição acima dos 20% de farelo de crambe poderia reduzir a qualidade da silagem, devido ao aumento do N-NH₃.

O teor de carboidratos solúveis (CHOS) reduziu em função da inclusão dos níveis de FC e dos dias de abertura do silo (FIGURA 3), apresentando efeito quadrático para todos os tratamentos (TABELA 2).

Figura 3: Carboidratos solúveis da silagem de cana-de-açúcar adicionado de 0%;5%;10% e 20% de farelo de crambe em diferentes tempos de abertura 10;20;30 e 60 dias.



Essa resposta foi mais evidente aos 10 dias de abertura, havendo queda de 7,95; 8,09 e 9,24% do teor de CHOS para os níveis de 5, 10 e 20% de adição do FC, respectivamente, em relação ao tratamento controle, uma vez que o aditivo apresenta teor de CHOS inferior à cana-de-açúcar (TABELA 1), assim a concentração de CHOS foi dissolvida diante a inclusão dos níveis de FC. Freitas et al. (2006) também observaram redução do teor de carboidratos solúveis da silagem de cana-de-açúcar quando adicionaram resíduos da colheita de soja (59% e 48,9%, para os tratamentos controle e aditivado, respectivamente).

A redução no teor de carboidratos solúveis no decorrer dos tempos de abertura ocorreu em função das perdas de MS serem menores para os tratamentos com inclusão do resíduo absorventes, onde houve aumento de matéria seca, comprovando que esses tratamentos são mais eficientes em reduzir a perda de CHOS na silagem.

Para o tratamento controle houve um decréscimo 16,91; 5,93; 3,4 e 0,19 % de CHOS para os intervalos de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-60 dias de ensilagem, respectivamente, comportamento este semelhante para as silagens aditivadas. O decréscimo para todos os tratamentos foi maior até os 30 dias de abertura dos silos, depois a curva se manteve mais estável. Ferreira et al. (2007) reportaram comportamento semelhante para esta variável,

ênfatizando o decréscimo acentuado no teor de CHOS nos sucessivos dias de abertura dos silos.

Os CHOS constituem a fonte prioritária de energia para os microrganismos fermentadores, por isto há rápida redução nos teores deste constituinte logo nos primeiros dias de fermentação da massa ensilada. Neste caso, a grande população de bactérias ácida láctica e leveduras epífitas promovem a fermentação acelerada da massa ensilada e, possivelmente no caso da ensilagem de cana-de-açúcar, convertem CHOS em etanol, CO₂ e água (JOBIM; NUSSIO, 2013; McDonald et al., 1991).

A inclusão do aditivo na silagem de cana-de-açúcar resultou na diminuição dos CHOS, porém ocasionou também a desaceleração da queda em função dos dias de abertura. A partir dos 30 dias de ensilagem, foi observada uma tendência à estabilização no teor de carboidratos solúveis em todos os tratamentos.

Para a variável condutividade elétrica (CE) constatou-se interação significativa com efeito quadrático apenas para o tratamento com acréscimo de 20% do aditivo, havendo aumento da CE à medida que aumentou os níveis de inclusão do farelo de crumbe e dias de abertura, para os demais não teve efeito significativo. O aumento observado foi de 2,95 vezes do tratamento controle para o maior nível de inclusão do FC (TABELA 3). Neste caso, especula-se que o incremento da CE ocorreu em função da adição crescente do FC, uma vez que este coproduto apresenta elevado valor para esta variável. Esta afirmativa é respaldada quando comparamos os valores de CE presentes no farelo de crumbe e na cana-de-açúcar *in natura* (2,65 e 0,43 m S/cm, respectivamente) apresentados na Tabela 1.

Tabela 3: Valores médios e equações de regressão para condutividade elétrica (CE) e atividade da água (AW) na silagem de cana-de-açúcar em função da adição do farelo de crumbe (0, 5, 10 e 20%) e do tempo de abertura (10, 20, 30 e 60 dias após a ensilagem)

Níveis/ Tempos	10	20	30	60	Equação	R ²
Condutividade Elétrica (m S/cm)						
0	0,43	0,46	0,44	0,44	NS	-
5	0,61	0,65	0,64	0,65	NS	-
10	0,85	0,83	0,85	0,91	NS	-
20	1,09	1,14	1,16	1,30	Y=0,0041x+1,0457	0,99
Atividade da Água (Aw)						
0	1,00	0,92	0,92	0,93	Y=0,0001x ² -0,0083x+1,0637	0,89
5	1,00	0,92	0,93	0,94	Y=0,0001x ² -0,0076x+1,0552	0,80
10	1,00	0,93	0,94	0,94	Y=0,0001x ² -0,0064x+1,0469	0,81
20	0,99	0,93	0,93	0,94	Y=0,0001x ² -0,0070x+1,0486	0,86

Modelo de regressão (P>0,05).

Em silagens, a CE pode contribuir para mensurar as perdas de conteúdo intracelular oriundos do processo de ensilagem (JOBIN et al., 2007). Assim, os tratamentos onde houve inclusão de 20% do FC, as perdas foram maiores em relação aos demais tratamentos.

Castro et al. (2006) reportaram que o maior teor de MS também tem sido positivamente correlacionado com o teor de CE, uma vez que o aumento no teor de MS gera maior lise (quebra) celular, resultando em maior concentrado de íons na silagem. Os resultados observados neste trabalho apresentaram respostas semelhantes, uma vez que o teor de MS e a CE apresentaram aumento para os níveis crescentes de inclusão do farelo de crumbe.

A atividade da água (A_w) apresentou efeito de interação para os fatores doses x tempos. Houve ligeira diferença entre os níveis de inclusão do farelo de crumbe para silagem controle, para os dias de abertura dos silos experimentais apresentou comportamento decrescente até os 30 dias após abertura, tendendo a estabilidade até os 60 dias (TABELA 3).

Castro et al. (2006), avaliando o valor de A_w na silagem de capim-tifton 85, relatou comportamento semelhante, onde a atividade da água decresceu com o avançar dos dias durante a ensilagem desta forrageira.

Segundo Ditchfield (2000), o termo atividade da água foi criado para denominar a água disponível para crescimento microbiano e reações que possam deteriorar os alimentos. O valor da A_w indica o nível de água em sua forma livre nos materiais e é expresso na escala de 0 a 1,0. Considera-se o valor 0 (zero) para materiais livres de água e 1,0 para a água em sua forma líquida.

De acordo com Leitão (1997), o comportamento dos microrganismos frente à A_w é extremamente variável, dependendo da espécie ou da cepa considerada, do substrato no qual se encontra e da relação entre a A_w e os outros fatores intrínsecos ou extrínsecos. As bactérias, leveduras e os fungos normalmente necessitam de valores de A_w superiores a 0,90; 0,88; e 0,80, respectivamente, para que haja crescimento satisfatório.

A redução na A_w pode ter efeito sinérgico na queda do pH, devido à tolerância das bactérias ácido lácticas a condições de baixa umidade, assumindo grande importância na qualidade de fermentação de silagens (LINDGREN, 1999). De acordo com McDonald et al. (1991), o crescimento de bactérias do gênero *Clostridium* é inibido com A_w abaixo de 0,94, enquanto as bactérias acidoláticas são menos sensíveis e podem dominar a fermentação em matérias ensilados com alto teor de matéria seca.

A Aw passou a demonstrar diferença a partir dos 20 dias após ensilagem para todos os tratamentos, havendo a partir daí estabilidade para essa variável. Houve pequena diferença entre os tratamentos, porém corroborando com Muck (2010), que observou que com aumento da matéria seca a atividade da água diminui, causando redução proporcional no crescimento de microrganismo, especialmente do gênero *Clostridium*.

Para as análises bromatológicas, houve efeito de interação entre os tratamentos estudados (tempos de abertura x doses de adição do farelo de crambe) para os teores de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), matéria orgânica (MO) e proteína bruta (PB). As equações de regressão e seus respectivos coeficientes de regressão são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Equações de regressão para MS, MM, MO e PB da silagem de cana-de-açúcar em função da adição do farelo de crambe (0, 5, 10 e 20%) e do tempo de abertura (10, 20, 30 e 60 dias após a ensilagem)

Tempos/Níveis	Equação	R ²
Matéria Seca (g/kg)		
10	$Y=6,0595x+264,0969$	0,99
20	$Y=7,0908x+244,5663$	0,99
30	$Y=7,2416x+239,0804$	0,99
60	$Y=7,4174x+231,8130$	0,99
Matéria Mineral (g/kg)		
10	$Y=0,8824x+44,8688$	0,93
20	$Y=0,9264x+48,6318$	0,85
30	$Y=1,4315x+43,5665$	0,98
60	$Y=1,1245x+46,8474$	0,91
Matéria Orgânica (g/kg)		
10	$Y=5,1771x+219,2281$	0,94
20	$Y=6,1644x+195,9344$	0,99
30	$Y=5,9101x+195,5139$	0,99
60	$Y=6,2930x+184,9656$	0,99
Proteína Bruta(g/kg)		
10	$Y=8,6387x+28,6196$	0,99
20	$Y=-0,2248x^2+13,0584x+21,9560$	0,99
30	$Y=-0,3024x^2+13,8129x+22,4619$	1,00
60	$Y=-0,3265x^2+14,3102x+24,4479$	0,99

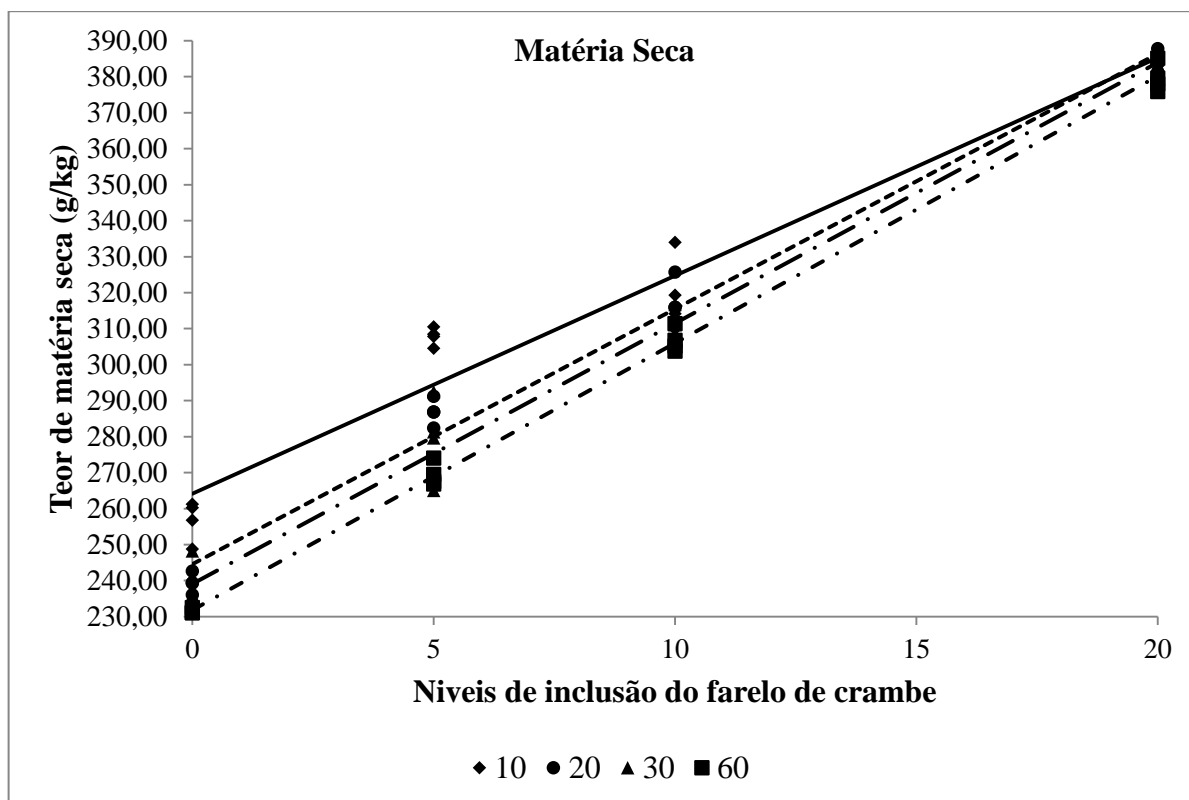
Modelo de regressão ($P>0,05$).

Foi observado aumento linear no teor de MS para os tratamentos de 5, 10 e 20% de inclusão do farelo de crambe em comparação ao tratamento controle, observando decréscimo desse teor de acordo com o maior tempo de ensilagem.

Avaliando o efeito sob os níveis de inclusão do FC (0, 5, 10 e 20%), pode-se constatar um aumento da matéria seca (FIGURA 4), com incrementos da ordem de 38,44;

75,74 e 148,63 g/kg no teor de MS para os três níveis de inclusão do FC, respectivamente. O aumento representativo do ter MS das silagens com adição de farelo de crambe ocorreu em função do elevado teor de matéria seca 852,3 g/kg apresentado por este coproduto (TABELA 1).

Figura 4: Matéria seca total na silagem de cana-de-açúcar adicionado de 0% 5%;10% e 20% de farelo de Crambe em diferentes tempos de abertura 10;20;30 e 60 dias.



De forma semelhante, Oliveira (2009) verificou efeito linear crescente para o teor de matéria seca da silagem de cana-de-açúcar em função da inclusão de farelo de mandioca. Cabe ressaltar que o teor médio de MS do farelo de mandioca (88%) utilizado no estudo supracitado foi similar ao teor de matéria seca do farelo de crambe utilizado no presente trabalho. Assim, pode-se afirmar que os teores de MS encontrados neste trabalho, variaram em função dos níveis de inclusão do farelo de crambe (26,94 a 37,94% de MS). Zopollato et al. (2009) reportaram um intervalo de 19,3 a 34,1% para o teor de matéria seca de silagem de cana-de-açúcar, em levantamento feito em artigos publicados nos principais periódicos nacionais entre os anos de 1999 a 2009, faixa essa em que se enquadram os resultados encontrados neste estudo para os níveis de 0, 5 e 10% de inclusão do aditivo. A adição de níveis maiores que 20% de adição do farelo de crambe pode trazer consequências negativas, uma vez que o teor de matéria seca irá desfavorecer a compactação, além de prejudicar a

fermentação da silagem, uma vez que eleva o pH devido ao caráter tamponante do farelo de crambe e aumenta o nitrogênio amoniacal.

Com relação aos diferentes dias de abertura, foi possível observar uma redução do teor de MS da cana-de-açúcar *in natura*, quando comparada ao teor de MS da silagem final, sendo verificado entre os dias 10 e 60 após ensilagem uma redução média de 1,63% de matéria seca. Tal redução possivelmente decorreu devido as perdas da MS durante a fermentação, que foram maiores na silagem controle. Freitas et al. (2006) e Oliveira (2009) reportaram comportamentos semelhantes aos obtidos no presente estudo.

A redução no teor de MS durante o processo fermentativo pode ter ocorrido em função das perdas de efluentes, porém essas não foram mensuradas, uma vez que, o método adotado não se mostrou eficiente para sua determinação.

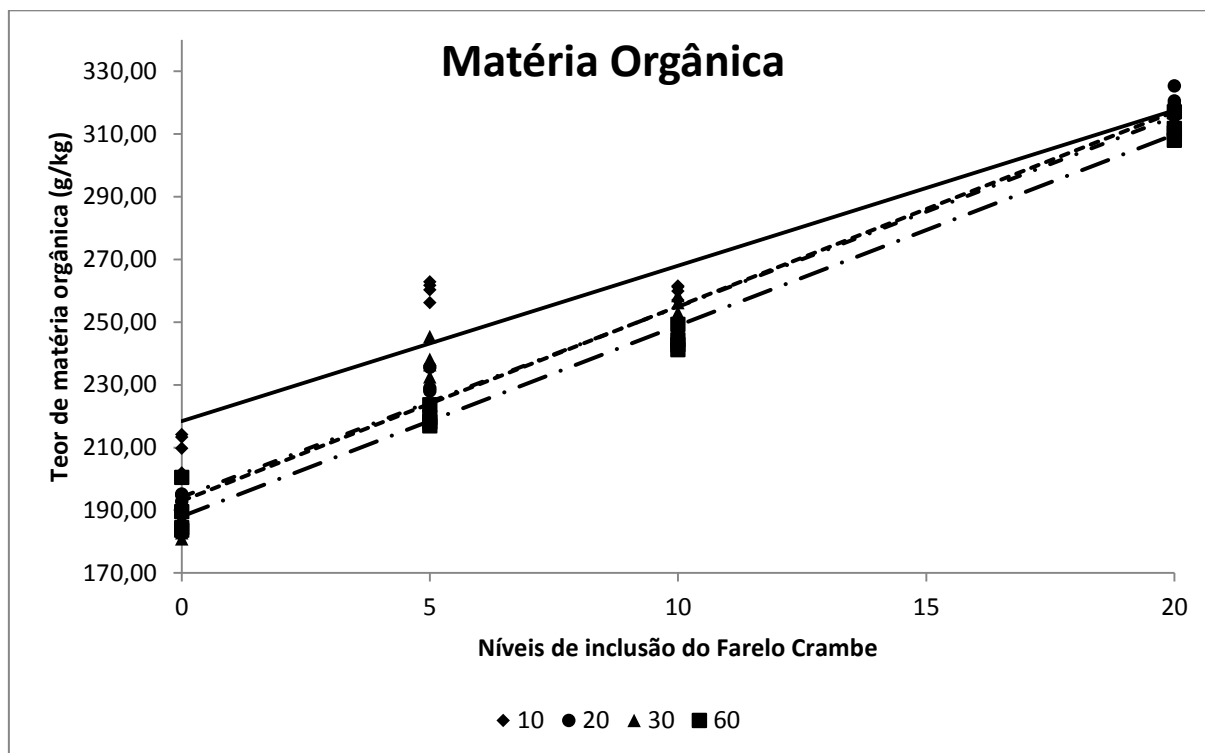
Siqueira et al. (2011), comparando o teor de MS na ensilagem (34,07%) com os valores após 56 dias de armazenamento (23,95%), observaram redução média de 10 pontos percentuais na silagem de cana, possivelmente em função da alta capacidade fermentativa da cana-de-açúcar. Todavia, observou-se que a queda nos teores de MS é mais intensificada até os primeiros sete dias de armazenagem, com posterior estabilização até o dia 56.

Segundo SIQUEIRA et al. (2007), o principal responsável pelas perdas durante a fermentação de cana-de-açúcar são as leveduras. Esses microrganismos em anaerobiose fermentam carboidratos solúveis e produzem CO₂ e etanol, gerando perdas de até 48,9% da MS (McDONALD et al., 1991).

O aumento no teor de matéria seca na silagem de cana-de-açúcar é uma característica desejável, uma vez que teores reduzidos de MS constituem o principal fator que possibilita o rápido desenvolvimento de leveduras na ensilagem de cana-de-açúcar.

O teor matéria orgânica (MO) apresentou interação em função dos níveis de adição do farelo de crambe e dias de abertura dos silos, apresentando comportamento linear em todos os tratamentos avaliados. A adição crescente do FC na massa ensilada de cana-de-açúcar proporcionou um aumento de 3,05; 5,49 e 12,22% de MO nos níveis de 5, 10 e 20% de inclusão do aditivo, respectivamente, em relação ao tratamento controle aos 60 dias de abertura do silo (FIGURA 5). Assim como para a variável MS, o incremento de MO também pode ser explicado em virtude do elevado teor de MO na constituição deste coproduto, sendo determinado teores de 778,31 g/kg de MO para o farelo de crambe e de 254,79 g/kg de MO para a cana-de-açúcar no momento do corte para a ensilagem (TABELA 1).

Figura 5: Matéria orgânica na silagem de cana-de-açúcar adicionado de 0% 5%;10% e 20% de farelo de Crambe em diferentes tempos de abertura 10;20;30 e 60 dias.

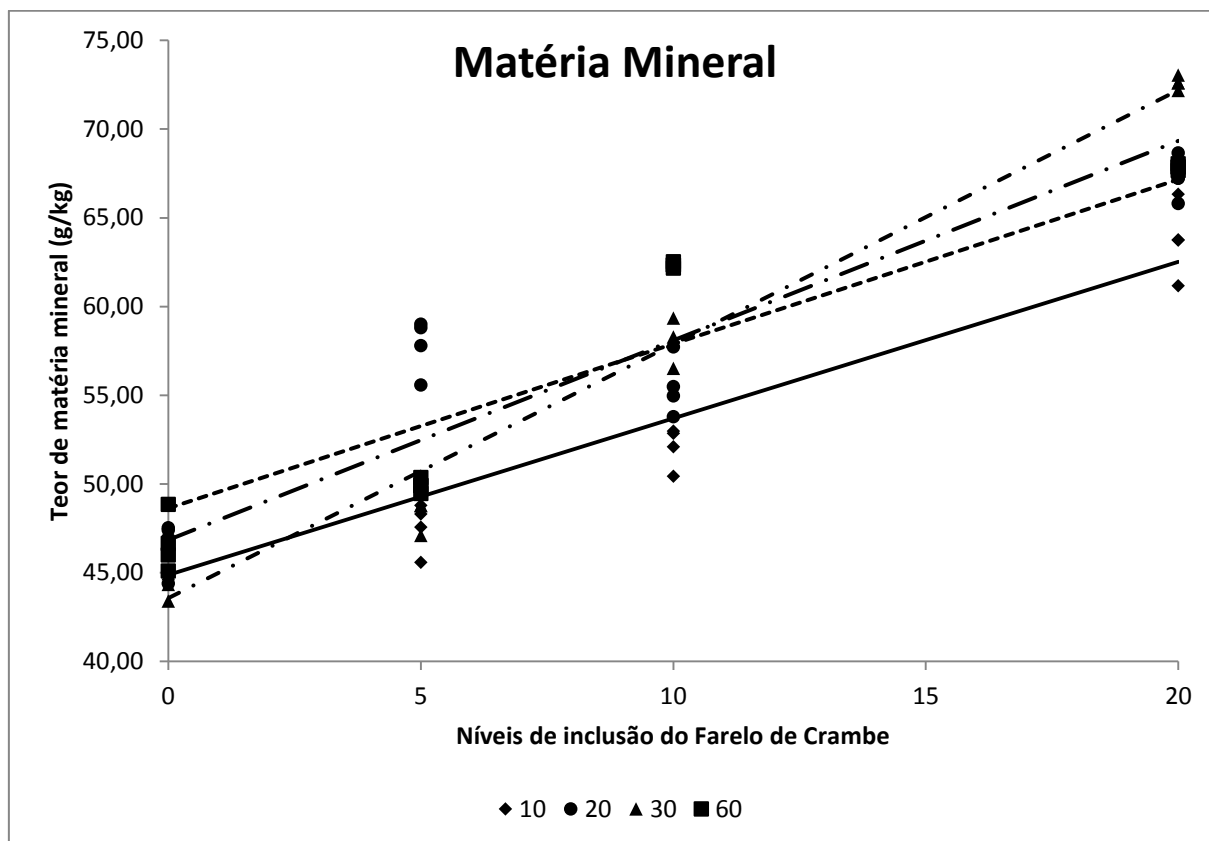


O ligeiro decréscimo observado para o teor de MO, em função dos dias de abertura, deve estar relacionado às perdas de MS do material ensilado, que ocorrem principalmente devido à ação das leveduras no processo de fermentação (McDONALD et al., 1991). Neste estudo foi observado uma redução de 6,53% do teor de MO da cana *in natura* para a silagem controle aos 60 dias, sendo este o tratamento que apresentou maiores perdas de MS e, conseqüentemente, perdas de MO também. Sendo assim, pode-se observar os benefícios da inclusão de um aditivo absorvente, o acréscimo no teor de MS proporcionado por este, influência de forma positiva outros parâmetros de qualidade da silagem.

Para o teor de matéria mineral (MM) foi observado efeito de interação entre a adição dos níveis crescentes do FC (5, 10 e 20%) e os diferentes dias de abertura dos silos (10, 20, 30 e 60 dias), sendo verificado comportamento quadrático para os tratamentos controle e 5% de inclusão do coproduto e linear para os demais tratamentos (FIGURA 6). Com relação aos níveis de inclusão, afirma-se que o elevado teor de matéria mineral apresentado pelo FC foi determinante para incrementar os teores de MM das silagens experimentais acrescidas por este coproduto. Tal alegação torna-se evidente quando comparados os teores de MM da cana-de-açúcar *in natura* e do farelo de crambe momentos

antes da ensilagem (23,90 e 73,90g/kg respectivamente), valores estes apresentados na Tabela 1.

Figura 6: Matéria mineral na silagem de cana-de-açúcar adicionado de 0% 5%;10% e 20% de farelo de Crambe em diferentes tempos de abertura 10;20;30 e 60 dias.

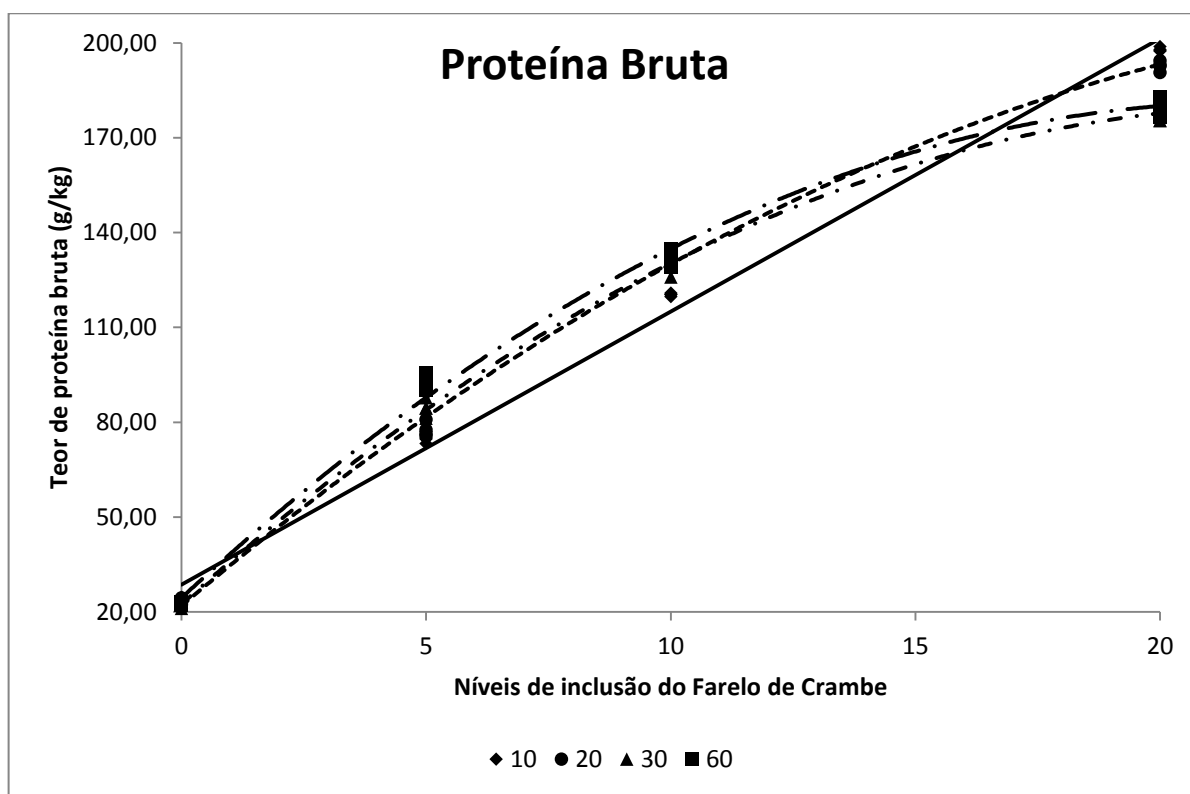


O acréscimo observado no teor de MM entre os níveis de inclusão foi de 1,06% por unidade de aditivo adicionada. Pode-se considerar que a adição do FC pode reduzir, mesmo que em pequena escala, a necessidade de suplementação com sal mineral comercial da dieta de animais alimentados com silagem acrescida com este coproduto. Cabe ressaltar que no presente estudo não foram realizadas análises para quantificação dos teores de macro e microminerais presentes na composição bromatológica do farelo de crambe. Entretanto, deve ser enaltecida a capacidade de enriquecimento do valor nutritivo da silagem com a adição do farelo de crambe. Neste ponto, a inclusão deste coproduto não fica restrita apenas a elevar o teor de MS da massa ensilada, mas sim abre a possibilidade de melhorar o valor nutritivo da silagem para prover alimento de melhor qualidade aos animais de produção.

O teor de proteína bruta (PB) apresentou incremento expressivo (FIGURA 7) em função da inclusão do farelo de crambe, sendo observados comportamentos diferentes em função dos dias de abertura dos silos. Novamente, o incremento no teor de PB pode ser explicado devido ao alto teor de PB do aditivo (37,33%), em relação ao material a ser

ensilado (3,16%). Comportamento semelhante foi reportado por Freitas et al. (2006), em que acrescentou um aditivo absorvente (resíduo da colheita de soja), e obteve valor 12,8 vezes superior a composição proteica da massa a ser ensilada. Alguns trabalhos reportaram que a inclusão de aditivos absorventes tais como farelo de mandioca e milho desidratado com palha e sabugo, na silagem de cana-de-açúcar, não incrementou significativamente o teor de PB do produto final (OLIVEIRA 2009; EVAGELISTA et al., 2009). Contudo, diferentemente do teor de PB contido no FC, os aditivos utilizados pelos referidos autores apresentaram medianos valores de PB (6,5 e 8,0, respectivamente) em suas constituições, o que diluiu o efeito de inclusão destes aditivos na massa ensilada.

Figura 7: Teor de proteína bruta da silagem de cana-de-açúcar adicionado de 0%;5%;10% e 20% de farelo de Crambe em diferentes tempos de abertura 10;20;30 e 60 dias.



A inclusão do FC resultou em incremento nos teores de PB das silagens experimentais de aproximadamente 6,97; 10,87 e 15,78% PB para os tratamentos 5; 10 e 20%, respectivamente. Os teores de PB obtidos pela inclusão do FC foram superiores aos 6% reportado por Mertens (1994) como sendo níveis mínimos para que este nutriente não seja limitante para a fermentação dos carboidratos estruturais pela flora microbiana do rúmen.

A ensilagem de cana-de-açúcar apresenta limitações quanto à qualidade final do volumoso. O teor de proteína na cana-de-açúcar é baixo, não suprimindo a necessidade animal.

O farelo de crambe, por ser um aditivo com alto teor de proteína bruta, eleva a qualidade da silagem de cana-de-açúcar, melhorando assim seu aporte nutricional.

Em função dos dias de abertura dos silos, para o tratamento controle não houve efeito significativo, uma vez que o teor de PB se manteve constante. Ferreira et al. (2007) também não observaram variação no teor de PB durante o período fermentativo para silagem controle. Nos níveis com 5 e 10% de inclusão do FC, foi observado aumento no teor de PB destas silagens entre os 10 e 60 dias de abertura. Neste caso, presume-se que tenha ocorrido efeito de diferentes concentrações de outros compostos na massa ensilada, uma vez que durante a fermentação por leveduras ocorre o consumo de carboidratos solúveis, o que pode acarretar proporcionalmente aumento das outras frações neste volumoso. Evangelista et al. (2009) reportaram resposta semelhante para esta característica. Siqueira et al. (2011) também encontraram resultados semelhantes em relação aos teores de PB nas silagens de cana-de-açúcar *in natura*, cana-de-açúcar queimada e tratadas com *L. buchneri* e também reportaram que o incremento no teor de PB em função do tempo ocorreu conforme o consumo de carboidratos solúveis.

No tratamento com 20% de farelo de crambe foi observada resposta diferente dos demais tratamentos, havendo ligeiro decréscimo no teor de PB nos tempos 20 e 30 dias de abertura da silagem e, posterior estabilização até o último tempo avaliado (60 dias). Estes resultados sugerem que parte da PB sofreu degradação em função do processo fermentativo e ação de microrganismos que usam a proteína como substrato. Esse processo de degradação da proteína bruta resulta na liberação de amônia, aumentando os níveis de N-NH₃ da silagem, comprometendo assim sua qualidade.

O aumento relevante no teor da proteína bruta obtida nesse estudo pode representar um significativo aporte proteico na dieta de ruminantes, podendo reduzir a utilização de alimentos proteicos, que constituem parte importante nos custos com a nutrição de animal. Vale ressaltar que para alimentos com elevado teor de proteína, é necessário que tenha uma fonte de energia metabolizável para manter o equilíbrio proteína: energia, reduzindo assim o risco de timpanismo.

Para variável extrato etéreo houve efeito de doses de inclusão e tempo de abertura dos silos, não havendo interação entre eles (TABELA 5). Os níveis de inclusão do farelo de crambe apresentaram comportamento decrescente diante da inclusão. Isto ocorreu, em virtude ao teor de EE do farelo de crambe ser menor que o da massa a ser ensilada (TABELA 1), assim, a substituição de 5; 10 e 20% de FC na massa de cana-de-açúcar resultou em diminuição da quantidade de lipídios. O decréscimo observado entre os níveis de inclusão

fora da ordem de 1,5; 0,77 e 1,14% para os intervalos de 0 a 5%; 5 a 10% e 10 a 20%, respectivamente. Neste caso, como o farelo de crambe é um coproduto oriundo da extração de biocombustível, ou seja, obtido após o processamento por meio de solventes específicos para extração do óleo de crambe, é completamente previsível que o teor de EE seja reduzido (0,68%).

Tabela 5- Teores médios e equação de regressão de extrato etéreo da silagem de cana-de-açúcar em função da adição do farelo de crambe (0, 5, 10 e 20%) e do tempo de abertura (10, 20, 30 e 60 dias após a ensilagem)

Níveis Tempos	10	20	30	60	Equação	R²	CV
0	24,81	24,57	24,43	24,41	Ydose=0,0060x²-0,2982x+24,5046	0,99	1,60
5	23,31	23,02	22,93	22,89			
10	22,54	22,34	22,24	22,04	Ytempo=-0,0293x+23,2623		
20	21,39	21,13	21,11	21,03			

Modelo de regressão (P>0,05).

Para os teores de FDNcp e FDA observou-se interação entre os tratamentos avaliados, com comportamento quadrático para todos os tratamentos, exceto com 10% do aditivo, onde não houve interação significativa. Os resultados médios e respectivas equações de regressão podem ser observados na tabela 6. Assim, observou-se decréscimos nos teores de FDNcp e FDA à medida que os níveis de inclusão do FC foram aumentados. Também foi observado incremento nos teores de fibra em função dos dias de abertura após ensilagem.

Tabela 6: Teores médios e equações de regressão para o FDNcp, FDA da silagem de cana-de-açúcar em função da adição do farelo de crambe (0, 5, 10 e 20%) e do tempo de abertura (10, 20, 30 e 60 dias após a ensilagem)

Níveis/ Tempos	0%	5%	10%	20%	Equação de Regressão	R ²
FDNcp (g/kg)						
10	555,09	502,0	472,07	438,52	Y=0,2648x ² -11,0547x+554,0418	0,99
20	591,03	557,60	440,17	438,99	Y=0,5276x ² -19,0374x+604,2754	0,88
30	643,09	564,43	492,24	457,10	Y=0,5377x ² -20,2168x+645,5352	0,99
60	608,88	569,02	498,13	434,49	Y=0,1576x ² -12,1844x+613,5491	0,98
FDA (g/kg)						
10	302,27	290,37	273,99	257,06	Y=-2,2828x+300,8973	0,98
20	332,86	298,35	244,84	266,03	Y=0,4618x ² -12,9143x+337,9061	0,92
30	367,69	327,32	293,24	274,31	Y=0,2638x ² -10,0001x+368,5180	0,99
60	358,18	318,42	292,98	260,42	Y=0,1744x ² +8,3312x+357,5100	0,99

Modelo de regressão (P>0,05).

Os decréscimos nos teores de FDNcp e FDA, possivelmente, devem-se ao baixo valor destes compostos na composição do FC(33,76 e 23,13% da MS, respectivamente), em comparação ao da massa a ser ensilada. As reduções nos valores de FDNcp e FDA sob o maior nível de inclusão (20% do farelo de crambe) foram 17,54 e 9,77% respectivamente(TABELA 6). Os valores máximos mínimos foram de 60,88 e 43,44% FDNcp e 35,81 e 26,04% de FDA, valores próximos ao encontrados por Oliveira (2009) e Freitas (2006), quando tiveram a silagem de cana-de-açúcar aditivada com farelo de mandioca e resíduo da colheita de soja, respectivamente.

Da mesma forma, Bicalho (2014) encontrou resultados parecidos ao adicionar farelo de crambe na silagem de sorgo+ capim colômbio, havendo uma redução na porção de FDN (64,89 para 61,18%) e FDA (33,04 para 31,21%) com a inclusão do aditivo.

De acordo com Zopollato et al. (2009), os teores médios de FDNcp e FDA para silagem de cana-de-açúcar variaram entre 49,1 a 75,3% e 48,7 a 34,6%, respectivamente, reforçando a ideia de que o farelo de crambe foi responsável pela diminuição dessas frações fibrosas.

Para os dias de abertura dos silos, houve aumento na concentração das frações fibrosas para o tratamento controle e os aditivados com 5 e 10% do FC. Para o tratamento 20% foi constatado ligeiro decréscimo (TABELA 6).

Em estudos avaliando o perfil fermentativo da silagem de cana-de-açúcar, Siqueira (2009), observou que os teores de FDN elevaram-se acentuadamente em todas as silagens até o sétimo dia de armazenamento, havendo tendência de queda do 14º até o 56º dia de armazenamento. Ferreira et al. (2007) reportaram aumento da concentração de FDN na silagem de cana-de-açúcar a partir do 7º dia de fermentação (50,2 para 67,5%), na fração de FDA o aumento foi a partir do 14º dia.

O aumento representativo dos teores de fibra nos primeiros dias após ensilagem está relacionado ao processo fermentativo dos microrganismos na fase inicial do processo de ensilagem. A perda acentuada nos teores de CHOS nesses primeiros dias de fermentação corrobora com esse argumento. O tratamento controle e com 5% de inclusão do farelo de crambe tiveram um maior consumo de carboidratos solúveis na fase inicial, e consequentemente, um aumento na fração fibrosa da silagem.

As leveduras são dominantes durante o processo fermentativo em silagens de cana-de-açúcar. Durante esse processo, a fermentação vai produzir etanol, gás carbônico, água e ATP, gerando perdas de MS e, consequentemente, propiciando aumentos proporcionais das frações fibrosas.

Detmann et al. (2004) ressaltam que a os teores de FDN e FDA nas silagens são de fundamental importância para o conhecimento do valor nutritivo desses alimentos para ruminantes, uma vez que esses teores são indicativos da quantidade de fibra presente na forragem, estando o FDN ligado a quantidade de fibra que há no volumoso, e FDA, a quantidade de fibra menos digestível. Dessa maneira, quanto menores seus valores, melhor será a digestibilidade da silagem produzida e maior será a ingestão de matéria seca.

As médias e equações de regressão para nutrientes digestíveis totais estimados (NDTest), carboidratos não fibrosos (CNF) e carboidratos totais (CT) estão na Tabela 7.

Tabela 7: Médias e equações de regressão dos nutrientes digestíveis totais, carboidratos não fibrosos e carboidratos totais da silagem de cana-de-açúcar em função da adição do farelo de crumbe (0, 5, 10 e 20%) e do tempo de abertura (10, 20, 30 e 60 dias após a ensilagem)

Níveis/ Tempos	0	5	10	20	Equação	R ²
Nutrientes digestíveis totais (g/kg)						
10	574,72	581,42	590,65	600,18	$Y=1,2852x+595,4948$	0,98
20	557,50	576,93	607,05	595,13	$Y=-0,2600x^2+7,2707x+554,6588$	0,92
30	537,89	560,62	579,81	590,46	$Y=-0,1485x^2+5,6305x+537,4243$	0,99
60	543,24	565,63	579,95	598,28	$Y=-0,0982x^2+4,6905x+543,6219$	0,99
Carboidratos não Fibrosos (g/kg)						
10	349,61	351,50	332,94	278,43	$Y=-3,7884x+361,2688$	0,89
20	314,52	283,93	348,96	279,94	$Y=-0,2964x^2+5,0829x+301,2645$	0,30
30	265,27	279,37	297,53	271,38	$Y=-0,2581x^2+5,6035x+263,2364$	0,91
60	297,35	265,74	286,04	296,02	$Y=0,1911x^2-3,5499x+292,2621$	0,50
Carboidratos totais (g/kg)						
10	904,70	854,10	805,01	716,95	$Y=0,0557x^2-10,5111x+904,8543$	1,00
20	905,55	841,53	789,13	718,94	$Y=0,2312x^2-13,9545x+905,5399$	1,00
30	908,36	843,80	789,77	728,48	$Y=0,2796x^2-14,6132x+908,7716$	0,99
60	906,23	834,76	784,18	730,51	$Y=0,3488x^2-15,7342x+905,8112$	0,99

Modelo de regressão ($P>0,05$).

O aumento verificado diante a interação da adição ao farelo de crumbe e tempo de abertura dos silos da silagem de cana-de-açúcar, ocorreu pelo alto teor de NDT no aditivo 73,51% de NDT estimado na MS (TABELA 1) O que evidencia que a adição de aditivos absorventes que possuam valor nutritivo superior ao da forragem a ser ensilada deve ser estudada, visto que, além de possibilitar um melhor perfil fermentativo da forragem, garantindo uma maior manutenção da sua qualidade, eles possuem a capacidade de elevar o valor nutritivo da silagem quando aditivada (LOPES, 2006). Em estudos, Andrade et al., (2001) e Freitas, (2001) encontraram resultados condizentes aos obtidos no estudo.

Um dos fatores que conferem a importância da cana-de-açúcar é o fato de que é a planta forrageira com o maior potencial de produção de massa e energia (nutrientes digeríveis totais - NDT) por unidade de área, produzindo em um único corte de 15 a 20 t de NDT/ha, enquanto o milho, o sorgo e a mandioca produzem cerca de 8 t de NDT/ha (PEDROSO, 2004).

Daniel et al. (2011), observaram com base em dados do NRC (1996) e em médias de amostras submetidas à análise no Laboratoriais, relataram níveis de NDT de 58% da MS em silagem de cana-de-açúcar, valor semelhante aos encontrados no presente estudo, que variaram em 54,3 a 59,82 % (TABELA 7) para o tratamento controle e 20% de FC, respectivamente.

Os valores encontrados para CNF foram ligeiramente afetados pelos níveis do farelo de crumbe e influenciados pelo tempo de abertura dos silos experimentais, sendo o valor médio observado aos 60 dias após abertura de 286,28 g/kg de MS. A similaridade nos teores de carboidratos não fibrosos pode ser explicada pela fórmula que é calculado, assim o alto teor de FDN contido no tratamento controle e o alto teor PB do aditivo faz com que haja similaridade nos teores de CNF.

Tais valores são maiores que os encontrados por Lopes e Evangelista (2010), onde o teor médio de CNF esteve em 15,56% e aos encontrados por Pereira et al. (2000) de 35,9%.

Balieiro Neto et al. (2009) reportaram o mesmo comportamento, havendo em seu estudo uma redução de 9,38% do teor de CNF para cana *in natura* e a massa ensilada aos 84 dias. Segundo estes autores, tal comportamento ocorreu em razão da redução no teor de carboidratos solúveis após a ensilagem em relação à cana-de-açúcar *in natura*. Esse efeito deve-se à perda de carboidratos solúveis pela formação de efluentes e produção de gás durante o processo fermentativo, o que resulta em aumento proporcional da fração menos fermentável e insolúvel em água, como os constituintes da parede celular.

Na constituição da cana-de-açúcar, existem duas frações dominantes, carboidratos não fibrosos e fibra em detergente neutro, que representam cerca de 90% da constituição desta forragem e a avaliação pelo teor de carboidratos não fibrosos não deve ser associada diretamente aos carboidratos solúveis, pois, nos carboidratos não fibrosos, computa-se a presença de outros compostos, como ácidos orgânicos (SIQUEIRA et al., 2007). No entanto, considerando que, na cana-de-açúcar, as leveduras são os principais microrganismos capazes de fermentar os carboidratos solúveis contidos na fração de carboidratos não fibrosos, possivelmente com maior inibição da atividade dessas leveduras, o conteúdo de carboidratos

solúveis residuais será maior na silagem e, conseqüentemente, também será maior o teor de carboidratos não fibrosos (LOPES; EVANGELISTA, 2010).

Constatou-se a redução dos carboidratos totais na silagem de cana-de-açúcar aos níveis de inclusão do FC e ligeiro aumento em função do tempo para os tratamentos onde houve inclusão do farelo de crumbe, não havendo efeito significativo para o tratamento controle. Houve um decréscimo de 7,15; 12,21 e 17,56% de CT para os níveis de 5, 10 e 20% de inclusão do aditivo, respectivamente (TABELA 7). Tal fato se deve ao baixo teor de CT do farelo de crumbe (54,57% de CT na MS) em substituição a cana-de-açúcar no momento da ensilagem que contem 91,71% de CT (TABELA 1).

Os teores de carboidratos totais são influenciados pelos valores de PB e EE, devido à sua utilização dessas variáveis para estimar os carboidratos. Portanto, silagens com maior inclusão de FC possuem maiores níveis de proteína bruta, haja vistas a contribuição do aditivo para aumentar o teor de proteína bruta das silagens, estas apresentam menores teores de CT.

Oliveira (2009) observou queda de 17% no teor de CT da silagem de cana-de-açúcar quando aditivada com ureia em relação à cana aditivada com farelo de mandioca, uma vez que a ureia fornece maior teor de nitrogênio que o farelo de mandioca, o que irá influenciar diretamente os CT.

5. CONCLUSÃO

A adição do farelo de crambe na ensilagem de cana-de-açúcar melhorou sua composição químico-bromatológica, sendo indicada sua inclusão até os 10%, uma vez que maiores inclusões acarretam em aumento desfavorável da matéria seca, nitrogênio amoniacal e redução dos teores de carboidratos solúveis.

Houve tendência a estabilidade do processo fermentativo a partir dos 30 dias de abertura após ensilagem.

6. REFERÊNCIAS

- ANDERSON, V. L. et al. Crambe meal is equivalent to soybean meal for back grounding and finishing beef steers. **Journal of Animal Science**, V.71, p.2608-2613, n. 10, 1993.
- ANDRADE, J.B; FERRARI Jr, E; BRAUN, G. Valor nutritivo da silagem de cana-de-açúcar tratada com ureia e acrescida de rolão-de-milho. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v.36, n.9, p.1169-1174, 2001.
- ARAÚJO, V.L.. et al. Qualidade das silagens de três híbridos de sorgo ensilados em cinco diferentes estádios de maturação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, p.168-174, 2007.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY - AOAC. **Official methods of analysis**. 16.ed. Arlington: AOAC International, 1995. 1025p.
- BAILEY, R.W. Quantitative studies of ruminant digestion. II. Loss of ingested plant carbohydrates from the reticulo rumen. **New Zeland Journal of Agricultural Research**. v.10, n.1, p.15-32, 1967.
- BALIEIRO NETO, G. et al. Óxido de cálcio como aditivo na ensilagem de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.5, p.1231- 1239, 2007.
- BALIEIRO NETO, G.et al. Perdas fermentativas, composição química, estabilidade aeróbia e digestibilidade aparente de silagem de cana-de-açúcar com aditivos químico e microbiano. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v. 44, n.6, p.621-630, 2009.
- BERNARDES, T. F. et al. Avaliação da queima e da adição de milho desintegrado com palha e sabugo na ensilagem de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n. 2, p. 269 -275, 2007.
- BERNARDES, T. F; WEINBERG, Z. Aspectos associados ao manejo de silagem. In: REIS, R. A.; BERNARDES, T. F.; SIQUEIRA, G. R. **Forragicultura: Ciência, Tecnologia e Gestão dos Recursos Forrageiros**. Jaboticabal: Maria de Lourdes Brandel - Me, 2013. Cap. 42. p. 671-674.
- BICALHO, G. P. **SILAGEM MISTA DE SORGO E CAPIM-COLONIÃO COM ADIÇÃO DE FARELO DE CRAMBE**. 2014. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Zootecnia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2014. Cap. 1.
- CANOVA, E.B. Torta de crambe (*crambe abyssinica hochst*) na alimentação de cordeiros. 2012. 77p. **Dissertação (Mestrado em Produção Animal Sustentável)** – Instituto De Zootecnia, Nova Odessa, 2012.
- CARDOSO. R.B; BINOTTI. F. F; CARDOSO. E.D. Potencial fisiológico de sementes de crambe em função de embalagens e armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 3, p. 272-278, 2012.

CORSI, M. **Manejo da pastagem** – Uberaba: FAZU, 2004. 97 p. (Curso de Pós-graduação “latu sensu” em Manejo da Pastagem, Módulo 7.

CASTRO, F.F. et al. Perfil microbiológico, parâmetros físicos e estabilidade aeróbia de silagens de capim-tifton 85 (*Cynodonsp.*) confeccionadas com distintas concentrações de matéria seca e aplicação de aditivos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.358-371, 2006.

DANIEL, J.L.P; ZOPOLLATO, M; NUSSIO, L.G. A escolha do volumoso suplementar na dieta de ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p.261-269, 2011.

DETMANN, E. et al. Validação de equações preditivas da fração indigestível da fibra em detergente neutro em gramíneas tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.1866-1875, 2004.

DETMANN, E. et al. **Métodos para análise de alimentos**. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema Editora, 2012, 214 p.

DITCHFIELD, C. **Estudos dos métodos para a medida da atividade de água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 195p., 2000.

EVANGELISTA, A,R; PERON, A.J; AMARAL, P.N.C. Forrageiras não convencionais para silagem- mitos e realidades. In SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DE PASTAGENS, 2., 2004, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2004. P. 463- 507.

EVANGELISTA, A.R. et al. Alterações bromatológicas e fermentativas durante o armazenamento de silagens de cana-de-açúcar com e sem milho desintegrado com palha e sabugo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.1, p.20-26, 2009.

FERREIRA, D.A. et al. Características de fermentação da silagem de cana-de-açúcar tratada com uréia, zeólita, inoculante bacteriano e inoculante bacteriano/enzimático. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. v.59, n.2, p.423-433, 2007.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistic alanalysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FIGUEIREDO D.F. et. al Desempenho e Morfometria da Mucosa de Duodeno de Frangos de Corte Alimentados com Farelo de Canola, Durante o Período Inicial. **R. Bras. Zootec.**, v.32, n.6, p.1321-1329, 2003.

FREITAS, D. **Digestibilidade total e parcial de rações contendo silagens de cana-de-açúcar, da casca e da raspa de mandioca aditivadas com polpa cítrica**. 2001. 65p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)- Faculdade de ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

FREITAS, A.W.P. et al. Avaliação da qualidade nutricional da silagem e cana-de-açúcar com aditivos microbianos e enriquecida com resíduo da colheita de soja. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.1, p.38-47, 2006.

FUNDAÇÃO MATO GROSSO DO SUL – FUNDAÇÃO MS (2010) Maracajú – MS. Acesso em 5 de setembro de 2015. Disponível em <http://www.fundacaos.org.br/>.

GOES, R.H.T.B. et al. Degradabilidade *in situ* dos grãos de crambe, girassol e soja, e de seus coprodutos em ovinos. *Acta Scientiarum Animal Sciences*. Maringá, v. 32, n. 3, p. 271-277, 2010.

HALL, M. B.; HOOVER, W. H.; JENNINGS, J. P. A method for partitioning neutral detergent soluble carbohydrates. *Journal Science Food Agriculture*, Gainesville, v. 79, p. 2079-2086, 1999.

HENTZ, F. Avaliação da inclusão do farelo de canola em dieta de ruminantes. **Dissertação** (Mestrado) Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

JOBIM, C.C. et al. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36 (suplemento), p. 101-119, 2007.

JOBIM, C. C.; G. NUSSIO, L. Princípios Básicos da Fermentação na Ensilagem. In: REIS, R. A.; BERNARDES, T. F.; SIQUEIRA, G. R. **Forragicultura: Ciência, Tecnologia e Gestão dos Recursos Forrageiros**. Jaboticabal: Maria de Lourdes Brandel - Me, 2013. Cap. 40. p. 649-660.

KLOPFENSTEIN, T. Increasing the nutritive value of crop residues by chemical treatment. In: HUBER, J.T. (Ed). **Upgrading residues and by-products for animals**. Boca Raton: CRC Press, 1980. p.40-60.

KRAUS, T.J. et al. Leachate conductivity as an index for quantifying level of forage conditioning. In: **Asae Annual International Meeting**, 1997, Minneapolis: ASAE, 12p., 1997.

KÖPPEN, W. **Climatología: con un estudio de los climas de la Tierra**. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 1948, 479p.

KUNG JR., L.; STOKES, M.R.; LIN, C.J. Silage additives. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARRISON, J.H. (Eds.) **Silage Science and Technology**. Wisconsin: ASA/ CSSA/ SSSA, 2003a. p.305-360.

LEITÃO, M.F.F. Atividade de água e alterações microbiológicas dos alimentos. In: JARDIM, D.C.P.; GERMER, S.P.M. (Eds.) **Atividade de água em alimentos**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1997. p.1-18.

LICITRA, G.; HERNANDEZ, T. M.; VAN SOEST, P. J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science Technology**, v.57, n.4, p.347-58, 1996.

LINDGREN, S. C.H.A.C.C.P. Principles be applied for silage safety? In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 7. Uppsala, 1999. **Proceedings...** Uppsala: Swedish University of Agricultural Science, 1999. p.51-66.

LOPES, J. **Qualidade da silagem de cana-de-açúcar elaborada com diferentes aditivos**. 2006. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

LOPES, J; EVANGELISTA, A.R. Características bromatológicas, fermentativas e população de leveduras de silagens de cana-de-açúcar acrescidas de ureia e aditivos absorventes de umidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.5, p.984-991, 2010.

McDONALD, P.; HENDERSON, A.R.; HERON, S.J.E. **The bio chemistry of silage**. 2.ed. Marlow: Chalcomb Publications, 1991. 340p.

MERTENS, D.R. Regulation of forage intake. In: FAHEY JR., G.C. (Ed.). **Forage quality, evaluation and utilization**. Madison: American Society of Agronomy, 1994. p.450-493.

MERTENS, D.R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beaker or crucibles: collaborative study. **Journal of AOAC International**, v.85, p.1217-1240, 2002.

MORAIS, G. **Coprodutos do biodiesel na ensilagem de cana-de-açúcar**. 2012. 55f. Dissertação (Mestrado). Curso de Zootecnia, Universidade Federal de Lavras, Lavras 2012.

MORRISON, I.M. Changes in the cell wall components of laboratory silages and the effect of various additives on these changes. **Journal of Agricultural Science**, v.93, p.581-586, 1979.

MUCK, R. E. Silage microbiology and its control through additives. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, suplemento especial, p. 183-191, 2010.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. Nutrients requeriments of beef cattle. 7.ed. Washington, D.C.: 1996. 244p.

NUSSIO, L.G.; PAZIANI, S.F.; NUSSIO, C.M.B. Ensilagem de capins tropicais. In.: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39. 2002. Recife. **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2002. p.60-99.

OLIVEIRA, H. C. **Silagem de cana-de-açúcar com ureia e farelo de mandioca**. 2009. 54 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009. Cap. 1.

OLIVEIRA, P. F. de. **Farelo de crame: composição bromatológica, degradabilidade in situ e níveis de inclusão na suplementação de bovinos de corte**. 2010. 23 f. TCC (Graduação) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal de Goiás Campus Jataí, Jataí, 2010.

PEDROSO, A.F. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. **35: Aditivos na ensilagem e cana-de-açúcar**. São Carlos: Embrapa, 2004.

PEDROSO, A.F. et al. Efeito do tratamento com aditivos químicos e inoculantes bacterianos nas perdas e na qualidade de silagens de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.3, p.558-564, 2007.

PEREIRA, E.S. et al. Determinação das frações proteicas e de carboidratos e taxas de degradação *In vitro* da cana-de-açúcar, da cama de frango e do farelo de algodão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 6, p. 1887-1893, 2000.

PEREIRA, O.G. et al. Conservação de forragens como opção para o manejo de pastagens. Anais de Simpósios da 43ª Reunião Anual da SBZ. **Anais...** – João Pessoa – PB, 2006.

PEREIRA, O. G.; ROCHA, K. D.; FERREIRA, C. L. de L. F. Composição química, caracterização e quantificação da população de microrganismos em capim-elefante cv. Cameroon (*Pennisetum purpureum*, Schum.) e suas silagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 6, p.1742-1750, 2007.

PERRY, T. W. et al. Crambe meal as a source of supplemental protein for growing-finishing beef cattle. **Journal of Animal Science**, v. 48, n.4, p. 758-763, 1979.

PITOL, C. Crambe; *Crambe abyssinica* Hochst “Uma opção rentável para sua safrinha”. **Fundação Mato Grosso do Sul CAR**, 04p. 2008.

REIS, R.A. et al. Capineira: Cana-de-Açúcar. In: REIS, R. A.; BERNARDES, T. F.; SIQUEIRA, G. R. **Forragicultura: Ciência, Tecnologia e Gestão dos Recursos Forrageiros**. Jaboticabal: Maria de Lourdes Brandel - Me, 2013. Cap. 38. p. 617-625.

ROBERTSON, J.B., VAN SOEST, P.J., 1981. The detergent system of analysis. In: James, W.P.T., Theander, O. (Eds.), **The Analysis of Dietary Fibre in Food**. Marcel Dekker, NY, Chapter 9, pp. 123–158.

SCHMIDT, P. et al. Aditivos químicos e biológicos na ensilagem de cana-de-açúcar. 1. Composição química das silagens, ingestão, digestibilidade e comportamento ingestivo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.5, p.1666-1675, 2007.

SILVEIRA, A. C. **Técnicas para produção de silagem**. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS. 2, 1975, Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1975, p. 156-180.

SIQUEIRA, G.R.; REIS, R.A.; SCHOCKEN-ITURRINO, R.P. et al. Associação entre aditivos químicos e bacterianos na ensilagem de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, p.269-275, 2007.

SIQUERIA, G.R. **ADITIVOS NA SILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR “IN NATURA” OU QUEIMADA**. 2009. 107 f. Tese (Doutorado) - Curso de Zootecnia, Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009. Cap. 2.

SIQUEIRA, G. R. et al. Perfil fermentativo de silagens de cana-de-açúcar *in natura* ou queimada tratadas ou não com *L. buchneri*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 8, p. 1951- 1661, 2011.

SIQUEIRA, G. R.; BERNARDES, T. F. Culturas destinadas à ensilagem. In: REIS, R. A.; BERNARDES, T. F.; SIQUEIRA, G. R. **Forragicultura: Ciência, Tecnologia e Gestão dos Recursos Forrageiros**. Jaboticabal: Maria de Lourdes Brandel - Me, 2013. Cap. 41. p. 661-670.

SNIFFEN, C. J.; O'CONNOR, J. D.; VAN SOEST, P. J. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v. 70, p. 3562-3577, 1992.

SOUSA, D.P. et al. Efeito de aditivo químico e inoculantes microbianos na fermentação e no controle da produção de álcool em silagens de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.9, p.1564-1572, 2008.

SOUZA, V.S; OLIVEIRA, P.B; LOUVANDINI,H; Potencial nutricional do *Crambe abyssinica* para ruminantes e seus coprodutos oriundos da obtenção do biodiesel. **47º Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**. Salvador, Bahia. 2010.

TRIPATHI, M.; MISHRA, A.S. Glucosinolates in animal nutrition: a review. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 132, n1/2, p.1-270. Jan. 2007.

VALADARES FILHO, S.C. **Digestibilidade aparente e locais de digestão da matéria seca, energia e carboidratos de feno de soja perene**. Belo horizonte: Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, 1997. 88 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, 1997.

Van SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Corvallis: O & B Books, 1987. 373p.

Van SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 1.ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 374p.

VILELA, D. Aditivos para silagens de plantas de clima tropical. In: SIMPÓSIO SOBRE ADITIVOS NA PRODUÇÃO DE RUMINANTES E NÃO-RUMINANTES, Botucatu, 1998. **Anais...** Botucatu: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1998. p.73-108.

ZOPOLLATTO, M.; DANIEL, J.L.P.; NUSSIO, L.G. Aditivos microbiológicos em silagens no Brasil: revisão dos aspectos da ensilagem e do desempenho de animais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.170-189, 2009 (suplemento especial).

WILSON, R.F.; WILKINS, R.J. The ensilage of autumn-sownrye. **Journal of British Grassland Society**, v.27, p.35-41, 1972.

ANEXO I

Tabelas de Análise de Variância

1. pH					
FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
Doses	3	2,2318	0,7439	537,7900	0,0000
Tempos	3	0,8609	0,2869	207,4560	0,0000
Doses*tempos	9	0,0457	0,0051	3,6750	0,0015
Erro	48	0,0664	0,0014		
Total corrigido	63	3,2049			
Cv	1,11				
Média geral	3,3598	Número de observações:		64	
2. Nitrogênio amoniacal					
FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
Doses	3	23,0729	7,6909	483,9830	0,0000
Tempos	3	6,4718	2,1572	135,7540	0,0000
Doses*tempos	9	6,3838	0,7093	44,6360	0,0000
Erro	48	0,7627	0,0159		
Total corrigido	63	36,6912			
Cv	6,89				
Média geral	1,83047	Número de observações:		64	
3. Carboidratos solúveis					
FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
Doses	3	261,5225	87,1742	2089,1200	0,0000
Tempos	3	328,5655	109,5218	2624,6800	0,0000
Doses*tempos	9	66,6531	7,4059	177,4820	0,0000
Erro	48	2,0029	0,0417		
Total corrigido	63	658,7439			
Cv	3,93				
Média geral	5,1917	Número de observações:		64	
4. Condutividade elétrica					
FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
Doses	3	4,686703	1,562234	1662,7870	0,0000
Tempos	3	0,053838	0,017946	19,1010	0,0000
Doses*tempos	9	0,063297	0,007033	7,4860	0,0000
Erro	48	0,045097	0,000940		
Total corrigido	63	4,848935			
Cv	3,94				
Média geral	0,7775	Número de observações:		64	

5. Atividade da Água

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
Doses	3	0,0003	0,0001	2.1860	0.1019
Tempos	3	0,0528	0,0176	441,7810	0,0000
Doses*tempos	9	0,0007	0,0001	2,0310	0,0560
Erro	48	0,0019	0,0000		
Total corrigido	63	0,0557			
Cv	0,67				
Média geral	0,9479	Número de observações:		64	

6. Matéria seca

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
Doses	3	170111,3006	56703,7668	1649,2090	0,0000
Tempos	3	3560,1884	1186,7294	34,5160	0,0000
Doses*tempos	9	1528,4263	169,8251	4,9390	0,0001
Erro	48	1650,3549	34,3823		
Total corrigido	63	176850,2703			
Cv	1,92				
Média geral	305,7221	Número de observações:		64	

7. Matéria orgânica

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
Doses	3	121304,3876	40434,7958	1035,361	0,0000
Tempos	3	5178,2708	1726,0902	44,198	0,0000
Doses*tempos	9	1378,0121	153,1124	3,921	0,0000
Erro	48	1874,5839	39,0538		
Total corrigido	63	129735,2545			
Cv	2,50				
Média geral	250,1955	Número de observações:		64	

8. Matéria mineral

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
Doses	3	4171,7521	1390,5840	888,5840	0,0000
Tempos	3	188,0820	62,6940	40,0620	0,0000
Doses*tempos	9	461,2855	51,2539	32,7510	0,0000
Erro	48	75,1173	1,5649		
Total corrigido	63	4896,2369			
Cv	2,25				
Média geral	55,5266	Número de observações:		64	

9. Proteína bruta

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
Doses	3	233025,5502	77675,1834	20484,8540	0,0000
Tempos	3	131,6901	43,8967	11,5770	0,0000
Doses*tempos	9	2095,9967	232,8885	61,4180	0,0000
Erro	48	182,0088	3,7918		
Total corrigido	63	235435,2452			
Cv	1,85				
Média geral	105,3381	Número de observações:		64	

10. Extrato etéreo

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
Doses	3	97,2437	32,4146	243,5570	0,0000
Tempos	3	1,5783	0,5261	3,9530	0,0134
Doses*tempos	9	0,0714	0,0079	0,0600	0,9999
Erro	48	6,3882	0,1331		
Total corrigido	63	105,2817			
Cv	1,60				
Média geral	22,7619	Número de observações:		64	

11. Fibra em detergente ácido

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
Doses	3	55904,8928	18634,9643	465,7990	0,0000
Tempos	3	13558,5758	4519,5253	112,9700	0,0000
Doses*tempos	9	7186,8940	798,5438	19,9600	0,0000
Erro	48	1920,3087	40,0064		
Total corrigido	63	78570,6713			
Cv	2,13				
Média geral	297,39548	Número de observações:		64	

12. Fibra em detergente neutro

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
Doses	3	241419,9243	80473,3081	722,7920	0,0000
Tempos	3	21246,1942	7082,0647	63,6090	0,0000
Doses*tempos	9	15770,3236	1752,2582	15,7380	0,0000
Erro	48	5344,1665	111,3368		
Total corrigido	63	283780,6087			
Cv	2,04				
Média geral	516,46494	Número de observações:		64	

13. Nutrientes digestíveis totais

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
----	----	----	----	----	-------

Doses	3	17720,1205	5906,7068	465,7990	0,0000
Tempos	3	4297,6491	1432,5497	112,9700	0,0000
Doses*tempos	9	2278,0224	253,1136	19,9600	0,0000
Erro	48	608,6784	12,6808		
Total corrigido	63	24904,4704			
Cv	0,62				
Média geral	304,9571	Número de observações:		64	

14.Carboidratos totais

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
Doses	3	287781,6450	95927,2150	15634,1700	0,0000
Tempos	3	460,6647	153,5549	25,0260	0,0000
Doses*tempos	9	1863,4630	207,0514	33,7450	0,0000
Erro	48	294,5155	6,1357		
Total corrigido	63	290400,2884			
Cv	0,30				
Média geral	816,3734	Número de observações:		64	

15.Carboidratos não fibrosos

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
Doses	3	10889,9225	3629,9742	32,4610	0,0000
Tempos	3	23881,0564	7960,3521	71,1860	0,0000
Doses*tempos	9	20351,1049	2261,2339	20,2210	0,0000
Erro	48	5367,6118	111,8252		
Total corrigido	63	60489,6958			
Cv	3,53				
Média geral	299,9084	Número de observações:		64	